



CATOLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

UISEU

Ação dos Lasers na desinfeção em endodontia Revisão sistemática

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por:

Francisco Miguel Alcobia Lopes Sanches

Viseu, 2020



CATÓLICA
FACULDADE DE MEDICINA DENTÁRIA

VISEU

AÇÃO DOS LASERS NA DESINFEÇÃO EM ENDODONTIA - REVISÃO SISTEMÁTICA

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Por:

Francisco Miguel Alcobia Lopes Sanches

Orientador: Professora Doutora Rita Noites

Coorientador: Professor Doutor Cacio Moura-Netto

Viseu, 2020

Agradecimentos

Queria agradecer à minha Orientadora, a Professora Doutora Rita Noites, pelo apoio, orientação e disponibilidade neste trabalho e no meu percurso académico. O meu sincero agradecimento.

Ao meu Co-Orientador, Professor Doutor Cacio Moura-Netto, pelo auxílio, apoio e disponibilidade ao longo deste trabalho

Aos meus pais e às minhas irmãs por todo o apoio nesta caminhada, pelos incentivos e constante motivação.

Às minhas avós, tios e tias que sempre me motivaram e acreditaram em mim.

À minha binómia, a todos os meus colegas e amigos pelo carinho, disponibilidade e amizade.

Resumo

O objetivo do tratamento endodôntico é a resolução ou prevenção da periodontite apical, uma doença causada pela infecção dos canais radiculares. O tratamento envolve a preparação biomecânica dos canais radiculares, com a utilização de instrumentos e produtos químicos, para melhorar o desbridamento e a desinfecção. Embora essa abordagem seja eficaz em muitos casos, os insucessos ainda ocorrem, e são provocados principalmente por microrganismos, que permanecem dentro do sistema de canais radiculares. Nesse sentido, foi introduzido a temática dos lasers para a utilização na desinfecção endodôntica. Este trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de desinfecção dos canais radiculares, utilizando diferentes técnicas com lasers. Foi realizada uma pesquisa nas bases de dados bibliográficas computadorizadas *Pubmed* e *Web of Science* (WoS) que procurou selecionar artigos sobre o uso do laser na desinfecção endodôntica, e verificar a sua eficácia. Foram selecionados 64 artigos que obedeciam aos critérios de seleção preconizados.

Os resultados das investigações selecionadas reportaram que a utilização das várias técnicas com laser (terapia fotodinâmica, PIPS, irradiação direta com o canal seco e com o canal húmido) conseguem diminuir significativamente o número de microrganismos. Alguns estudos realizaram também uma comparação com um grupo em que foi utilizado apenas NaOCl, sendo que a maioria dos mesmo concluiu que o efeito das técnicas com laser é igual ou pior ao do NaOCl.

Palavras – chave: “Endodontia”, “Lasers”, “Biofilme”

Abstract

The purpose of endodontic treatment is to resolve or prevent apical periodontitis, a disease caused by root canal infection. The treatment involves biomechanical preparation of the root canals, with the use of instruments and chemicals, to improve debridement and disinfection. Although this approach is effective in many cases, failures still occur, and are caused mainly by microorganisms, which remain within the root canal system. In this sense, the theme of lasers was used for use in endodontic disinfection. This work aimed to evaluate the disinfection capacity of the root canals, using different techniques with lasers. A search was performed in the computerized bibliographic databases *Pubmed* and *Web of Science* (WoS) that specify articles on the use of laser in endodontic disinfection and verify its effectiveness. 64 articles were selected that meet the recommended selection criteria.

The results of the selected investigations reported that the use of the various laser techniques (photodynamic therapy, PIPS, direct irradiation with the dry root canal and the wet root canal) can reduce the number of microorganisms. Some studies also carried out a comparison with a group in which only NaOCl was used, and most of them concluded that the effect of the laser techniques is equal to or worse than that of NaOCl.

.

Key words: “*Endodontics*”, “*Lasers*”, “*Biofilm*”

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Classificação dos lasers	3
1.2	Aplicação do laser na medicina dentária.....	5
1.3	Aplicação do laser na desinfecção dos canais radiculares em endodontia	7
2	Objetivos	10
3	Materiais e Métodos	12
4	Resultados.....	18
5	Discussão	32
6	Conclusão.....	40
7	Bibliografia	42

Índice de tabelas

Tabela 1- Equação da pesquisa Pubmed®	14
Tabela 2- Filtros de pesquisa Pubmed®	14
Tabela 3 - Filtros de pesquisa WebofScience@.....	14
Tabela 4 - Critérios de inclusão e exclusão	15
Tabela 5 - Caraterísticas das publicações selecionadas sobre a ação antibacteriana dos lasers	20
Tabela 6 - Resultados extraídos das publicações selecionadas (n=64)	31

Índice de figuras

Figura 1 - Fluxograma de seleção dos artigos	18
Figura 2 - Número de publicações por ano (n=64)	27
Figura 3 - Tipo de estudos selecionados (n=64)	28
Figura 4 - Objetos experimentais (n=67)	28
Figura 5 - Tipo de laser abordado nas publicações (n=77)	29
Figura 6 - Tipo de ação dos lasers (n=74)	30
Figura 7 - Distribuição das espécies bacterianas pelos estudos (n=64)	30

Índice de Abreviaturas

NaOCl– Hipoclorito de sódio

Nd: YAG - Granada-neodímio-ítrio-alumínio

Er: YAG - Érbio-Ítrio-Alumínio-Granada

Er, Cr: YSGG - Ítrio escândio granada e gálio

GaAlA - Arseneto de alumínio e gálio

He-Ne – Néon e hélio

PIPS - Photon induce photoacoustic streaming

TFD – Terapia Fotodinâmica

PDT – Photodynamic therapy

DAL – Desinfecção ativada por luz

KTP - Titanil fosfato de potássio

XeCl - Monocloreto de xenônio

Ho:YAG - Hólmio: Ítrio-Alumínio-Granada

HILT – High intensity laser therapy

LLLT- Low level laser therapy

1 Introdução

O termo LASER é um acrónimo para: “Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation”, que em português significa amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

Em 1917, Albert Einstein estabeleceu as bases para a invenção do laser, explicando o fenómeno da amplificação fotoelétrica, tendo este sido introduzido ao público em 1959 (1). O autor descreveu (1) que um laser é formado pela emissão de radiação como um processo natural. Quando um feixe de luz passa através de um meio ativo específico, vai causar a estimulação dos átomos no meio para transferir a luz numa direção específica (na mesma direção do meio), com o mesmo comprimento de onda do feixe de luz original, originando assim um feixe de laser. A teoria de Albert Einstein de emissão espontânea e estimulada de radiação descreve três características comuns a todos os lasers: luz monocromática, ou seja, as ondas luminosas apresentam o mesmo comprimento de onda e energia; coerência, que indica que todos os fótons emitidos, vibram em acordo de fase, no tempo e espaço e unidirecionalidade, ou seja, todos os fótons viajam na mesma direção (2).

O primeiro laser funcional foi construído por Theodore Maiman nos laboratórios de pesquisa Hughes em Malibu, na Califórnia, utilizando uma mistura de hélio e néon (3). Em 1961, um laser gerado a partir de cristais de granada, ítrio e alumínio, tratado com 1-3% de neodímio (Nd: YAG) foi desenvolvido (4). Em 1962 foi desenvolvido o laser de árgon e passados dois anos foi desenvolvido o laser de CO₂ por Patel (5).

Em 1990, a FDA (Food and Drug Administration) aprovou o uso do laser na cirurgia intraoral gengival e do tecido da mucosa, pois a sua aplicação garantia uma ferida sem sutura, dor e sangramento, aumentando a conveniência para o médico dentista e o conforto para o paciente (6). O primeiro laser projetado especificamente para ser utilizado em medicina dentária foi introduzido nos Estados Unidos em 3 de maio de 1990 por Myers (6).

O desenvolvimento na aplicação do laser permitiu estender o seu uso para a prevenção de cárie, preparação de cavidades, branqueamento, tratamento e prevenção da hipersensibilidade dentária, modulação do crescimento celular e também para fins de diagnóstico. Em tecidos moles, tem sido utilizado na cicatrização de feridas, na remoção de tecido hiperplásico, terapia fotodinâmica de doenças malignas e fotoestimulação de lesões herpéticas (3).

Os componentes básicos de um sistema a laser são uma fonte de energia, um meio ativo (que pode ser gasoso, sólido, semicondutor, semissólido, excímero ou líquido) e dois ou mais espelhos que formam um ressonador ótico. Para que ocorra amplificação da luz, é necessário fornecer energia ao meio ativo, através de um mecanismo de bombeamento, tal como corrente elétrica. A energia transferida para o meio ativo vai levar à emissão espontânea de fótons. Subsequentemente, ocorre amplificação através de emissão estimulada, à medida que os fótons são refletidos entre as superfícies altamente refletivas dos espelhos, que constituem o ressonador ótico, antes de saírem através de um acoplador de saída (4). Nos lasers utilizados na medicina dentária, a luz atinge os tecidos alvo principalmente através de um cabo de fibra ótica. (4).

A energia luminosa produzida por um laser pode ter quatro interações diferentes com um tecido alvo: reflexão, transmissão, dispersão e absorção (7,8). Para que ocorra absorção é necessário que o tecido apresente certos componentes, denominados cromóforos, que apresentam uma certa afinidade para um comprimento de onda de energia específico. Os principais cromóforos dos tecidos orais são: água, melanina e hemoglobina. Diferentes lasers produzem energia com diferentes comprimentos de onda, pelo que a absorção vai ser diferente pelos diferentes componentes dos tecidos orais, sendo a seleção do laser um procedimento que vai depender da sua utilização (4).

1.1 Classificação dos lasers

Na área da saúde os lasers podem ser classificados de acordo com vários fatores: o tipo de meio ativo, que pode ser gás, líquido, sólido ou semiconductor; o tipo de tecido a ser aplicado: tecido mole ou duro; o comprimento de onda, o risco associado com a sua aplicação e também a intensidade do laser (alta ou baixa intensidade) (6).

Os lasers em medicina dentária são utilizados principalmente em duas aplicações: bioestimulação e cirurgia. Os lasers aplicados para procedimentos de bioestimulação são os chamados lasers de baixa intensidade, sendo este procedimento também denominado de terapia de baixo nível (LLLT) (9) e operam abaixo de potência de 500 mW (10). São lasers compactos e de relativamente baixo preço. Este tipo de terapia oferece efeitos terapêuticos como aceleração do processo de cicatrização e alívio de dor. A aplicação da energia da luz do laser de baixa intensidade nos tecidos vivos vai gerar efeitos de bioestimulação sem causar aumento excessivo da temperatura. O principal benefício é que é uma técnica não cirúrgica, que reduz a incidência de edema e inflamações. Os lasers são aplicados aos tecidos em emissão contínua de ondas com um modo sem contato para gerar o efeito bioestimulador. Melhoria na cicatrização, remodelação e reparo ósseo, restauração das funções neurais após lesão e promoção da modulação do sistema imunológico e sinais nociceptivos são as vantagens associadas ao uso de lasers moles (6). Para esse fim, destacam-se os lasers de diodo, dependendo do meio ativo. Os lasers que trabalham além da faixa de 500 mW são aplicados em terapias a laser de alta intensidade (HILT), também chamados lasers cirúrgicos (3,4), devido à sua capacidade de corte de tecidos, são utilizados tanto em tecidos moles como tecidos duros, contudo apresentam algumas limitações: preço elevado e potencial para causar lesões térmicas à polpa e tecido periradiculares. Para tais usos, os lasers de CO₂, Nd:YAG, Erbium (Er: YAG e Er, Cr: YSGG) são os principais exemplos.

Como já foi referido anteriormente, quanto aos lasers de alta intensidade existem:

- ➔ Lasers de dióxido de carbono, que produzem energia com comprimento de onda com grande afinidade para a água, resultando na destruição de tecidos

moles e levando a um efeito hemostático, com profundidade de penetração baixa. (4,6), apresentando como desvantagens um elevado preço, um tamanho elevado e interações com tecidos duros que podem resultar na destruição dos mesmos;

- ➔ Lasers de granada-neodímio-ítrio-alumínio (Nd: YAG), que possuem menos afinidade pela água e são mais absorvido pela hemoglobina e melanina, apresentando um efeito mais profundo nos tecidos (4,6), sendo bastante eficazes na remoção e coagulação de tecidos moles dentários. (4,6);
- ➔ Lasers de erbium, que possuem dois comprimentos de onda: os lasers Er;Cr;YSGG (ítrio escândio granada e gálio) e os lasers Er:YAG (Érbio - Ítrio-Alumínio-Granada). A alta afinidade pela hidroxiapatita e alta absorção de água tornam este último tipo de laser como a melhor escolha para o tratamento de tecido duros, podendo também ser utilizados na ablação de tecidos moles, devido à elevada concentração de água presente nestes.

Quanto à utilização de lasers de baixa potência destacam-se os lasers de diodo. Este tipo de laser utiliza um meio semiconductor como fonte de emissão. Lasers de arseneto de alumínio e gálio (GaAlAs) e néon e hélio (He-Ne) são dois exemplos de lasers semicondutores. Os lasers desta categoria apresentam um comprimento de onda que é absorvido pela hemoglobina e pela melanina (tal como no laser Nd: Yag), tendo pouca afinidade para a água e hidroxiapatita. São utilizados principalmente em casos de gengivectomias, aumento de coroa clínica, remoção de tecido hipertrófico e inflamado e frenectomias e bioestimulação tecidular (4,6).

1.2 Aplicação do laser na medicina dentária

Na área da medicina dentária os lasers podem ser aplicados tanto em tecidos moles como tecidos duros (4). Algumas das aplicações em tecidos moles são:

- ➔ Cicatrização de feridas, uma vez que a aplicação do laser de baixa intensidade estimula a proliferação e maturação celular, mais precisamente de fibroblastos, e que por sua vez pode contribuir para maiores forças de tração relatadas para feridas cicatrizadas (4,11);
- ➔ Neuralgia pós-herpética e úlceras aftosas, sendo que já foi demonstrado que a fotoestimulação de úlceras aftosas e lesões herpéticas recorrentes, com laser de baixa potencia, proporciona um alívio da dor e aceleração da cicatrização (4,12);
- ➔ Desinfecção fotoativada, que, com a utilização de um fotossensibilizador ativado por laser vai causar dano à membrana e ADN dos microorganismos, sendo eficaz na eliminação de bactérias presentes em biofilmes complexos, como é o caso no interior dos canais radiculares, lesões cariosas profundas e bolsas periodontais, podendo este método ser também aplicado no tratamento de doenças malignas da cavidade oral (4);
- ➔ Gengivectomias e aumento coronário (4);
- ➔ Exposição de dentes não-erupcionados ou parcialmente erupcionados (4);
- ➔ Remoção de tecido hipertrófico e inflamado (4);
- ➔ Frenectomias (4);

Quanto à aplicação do laser em tecidos duros, este pode ser utilizado:

- ➔ Para gerar efeitos fotoquímicos, como por exemplo iniciar o processo de fotopolimerização de materiais dentários, com o uso de lasers de alta potência (4);
- ➔ Preparação de cavidades (4),
- ➔ Remoção de cáries e materiais restauradores (4);
- ➔ Tratamento da hipersensibilidade dentinária (4);
- ➔ Condicionamento do esmalte e dentina (4);

Pode ainda ser utilizado como método auxiliar no diagnóstico de lesões (4,6).

1.3 Aplicação do laser na desinfecção dos canais radiculares em endodontia

Os principais objetivos do tratamento endodôntico são a remoção do tecido necrosado e a eliminação dos microrganismos que podem causar inflamação persistente e insucesso no tratamento (13). Para atingir estes objetivos é necessário um tratamento canalar tanto mecânico como químico, que é tradicionalmente realizado com instrumentos manuais (alargadores e limas), em associação com produtos químicos desinfetantes (por exemplo: hipoclorito de sódio). A maioria das bactérias, juntamente com detritos necróticos da polpa, podem ser eliminados através da realização de procedimentos endodônticos rotineiros, contudo, a sua eliminação completa de forma a obter culturas negativas, não é possível de alcançar (14). Assim, como o prognóstico para o tratamento bem-sucedido do canal radicular é significativamente aumentado se o canal radicular não apresentar bactérias quando obturado, foi sugerido o uso de produtos químicos adicionais ou outros meios de desinfecção. Tradicionalmente, a redução do número de bactérias é realizada por irrigação com vários produtos químicos e medicação intracanal entre consultas. No entanto, mesmo para o tratamento nas melhores circunstâncias possíveis, as taxas de sucesso no tratamento endodôntico convencional raramente ultrapassam os 90% (15).

A existência de anastomoses cria um complexo tridimensional que deve ser completamente desinfetado durante a preparação biomecânica. Além disso, um estudo demonstrou (16) que o *Streptococcus spp.* pode colonizar os túbulos dentinários. A noção de efeito bactericida deve ter em conta essa tridimensionalidade, que também é fundamental para a obturação do sistema de canais radiculares.

De facto, a necessidade de desenvolvimento de métodos de tratamento que conseguissem melhorar a taxa de sucesso levou ao desenvolvimento de instrumentos endodônticos mecanizados para desbridamento mecânico e ampliação dos canais radiculares. Entre os dispositivos desenvolvidos para o tratamento endodôntico estão vários tipos de lasers (17,18). Estudos anteriores descreveram uma diminuição de detritos utilizando a preparação do canal

radicular a laser, em comparação com os canais tratados convencionalmente. Foi também sugerido que, para além da remoção melhorada de detritos, a radiação laser pode ter efeitos antimicrobianos auxiliares, o que pode reduzir consideravelmente o número de bactérias no canal radicular (18, 19).

Os lasers têm sido utilizados com diferentes técnicas na desinfecção endodôntica (20):

- ➔ Lasers de alta potência são utilizados para irradiar de forma direta o canal, através do uso de pontas ou fibras de extremidade fina, posicionadas no canal, 1 mm antes do comprimento de trabalho, podendo este estar seco ou com irrigante no seu interior; são também utilizados no sistema PIPS (photon induce photoacoustic streaming), que envolve o uso de laser de Érbio com finalidade de melhorar a ação irrigante.
- ➔ Lasers de baixa potência são utilizados na terapia fotodinâmica (TFD), também denominada de desinfecção ativada por luz (DAL), sendo que esta requer o uso de diferentes fotossensibilizadores com atividade antimicrobiana, que são ativados seletivamente por diferentes comprimentos de onda.

A irradiação direta de lasers sobre o sistema canalar leva a uma redução de bactérias e biofilme no interior dos canais (21,22,23). Já foram publicados vários estudos sobre a utilização do laser Nd: YAG com esta função, sendo que foi demonstrado que este possui uma boa capacidade na remoção de smear layer e debris, desinfecção e preparo (24,25). Lasers Er, Cr:YSGG podem ser utilizados de forma facilitada no interior dos canais radiculares, pois possuem uma ponta de fibra de vidro flexível com vários diâmetros e comprimentos (23,26)

Os lasers de érbio são também utilizados para ativar soluções irrigantes, o que leva a um aumento da sua capacidade de desinfecção. O mecanismo de irrigação ativada por laser e movimento de fluídos (PIPS) foi descrito por Blanken *et al.* (27), afirmando que o uso do laser Er, Cr:YSGG cria expansão e implusão de bolhas de vapor na solução, o que leva a um efeito de cavitação secundário. Uma ponta cônica é utilizada para ativar a solução, evitando o contacto com as paredes do canal. Essa ponta é colocada na porção mais coronal do canal, evitando efeitos colaterais como a formação de cracks e ablação da dentina. O efeito de cavitação fornece melhor desinfecção canalar nas camadas de dentina

profunda, aumentando a difusão do irrigante. Vários estudos (28,29) demonstraram que o uso de irrigação ativada por laser é significativamente mais eficaz a remover debris e smear layer do terço apical do canal, comparativamente com irrigação ultrassônica passiva e irrigação convencional com NaOCl.

A terapia fotodinâmica (TFD), é um método de desinfecção bacteriano recentemente introduzido na área da medicina dentária. A maior parte das soluções com efeito antimicrobiano eficaz são utilizadas em concentrações nas quais a toxicidade começa a ser um fator importante (30). Soluções desinfetantes devem, idealmente, evitar este problema, sendo que a TFD aparenta ter este potencial. Esta é baseada em dois componentes: uma solução aquosa que contem um fotossensibilizador, e um sistema com laser ou LED, com comprimento de onda específico para ativar a solução aquosa (31). Esta solução vai selecionar de forma específica bactérias dentro do canal radicular.

O fotossensibilizador utilizado no tratamento endodôntico é uma substância química de grau farmacológico, que liberta oxigénio quando exposto à luz de baixa potência no seu pico de absorção (31). O oxigénio nascente pode causar lesões oxidativas à parede celular bacteriana e assim matar os microrganismos. No entanto, nem o fotossensibilizador nem a luz têm qualquer efeito antibacteriano significativo quando utilizados sozinhos (32). A vantagem da TFD é que elimina seletivamente bactérias. Além disso, não afeta qualquer outro tecido normal e não causa danos ao meio circundante (33). Não há coloração na gengiva ou restaurações, sendo que também não incentiva o desenvolvimento de qualquer espécie resistente. A TFD, portanto, parece um promissor método para erradicar bactérias, mesmo as estirpes resistentes, como *Enterococcus Faecalis*, nos sistemas de canais radiculares.

2 Objetivos

O objetivo da realização desta revisão sistemática consistiu na avaliação do grau de desinfecção intracanalar obtido por várias técnicas com laser e qual o método de aplicação mais eficaz. Uma revisão sistemática tenta reunir todas as evidências empíricas que atendem a critérios de elegibilidade pré-selecionados, para tentar responder a uma questão de pesquisa específica. São utilizados métodos sistemáticos explícitos que são selecionados para minimizar vieses, fornecendo, assim, resultados fiáveis a partir dos quais, se podem tirar conclusões e tomar decisões (34,35).

É um estudo de dados secundários, que visa recolher informação publica sobre um tema específico em questão. O seu principal objetivo é obter uma resposta à questão inicialmente formulada, permitindo assim obter resultados válidos e fiáveis, que permitem melhorar a toma de decisões aquando da prática clínica.

3 Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do presente estudo foi realizada a seguinte questão:

Qual o nível de desinfecção canalar e melhor método de aplicação (O) obtido nos estudos (T) relativos ao tratamento endodôntico radical, mais propriamente o passo de desinfecção, com o auxílio de laser (I) em comparação com o uso de hipoclorito de sódio (C) em indivíduos com dentes necrosados/ com pulpite irreversível, dentes extraídos ou objetos que possam simular condições semelhantes às do interior dos canais radiculares (P).

População: Indivíduos com dentes necrosados e/ou com pulpite irreversível, dentes humanos extraídos e objetos que possam simular condições semelhantes às do interior dos canais radiculares.

Intervenção: Tratamento endodôntico radical, mais propriamente os passos da preparação mecânica e química com o auxílio de laser.

Comparação: Solução irrigante de hipoclorito de sódio.

Resultados – Nível de desinfecção canalar obtido.

Para dar resposta à questão de investigação proposta foram definidos objetivos:

- 1- Avaliar o grau de desinfecção intracanalar aquando da utilização do laser de forma direta ou indireta sobre os canais radiculares; e quando possível, comparar com o grau de desinfecção obtido com um grupo NaOCl sem nenhuma forma de ativação.
- 2- Qual o método de aplicação mais eficaz (Irradiação direta, PIPS ou terapia fotodinâmica).

Protocolo de estudo

O protocolo de pesquisa foi reportado de acordo com o PRISMA (preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses) com 27 pontos chave a abordar durante a realização de uma revisão sistemática e um diagrama de fluxo com 4 fases, para poder realizar uma revisão da forma mais transparente possível. As guidelines podem ser acedidas em <http://www.prisma-statement.org>

Com os objetivos e questão de investigação bem formulados, foram planeados procedimentos para recolha de dados, baseados em critérios de exclusão e inclusão. Para tal, procedeu-se à recolha de dados utilizando as bases de dados bibliográficas *PubMed*® e *Web of Science*®, nas quais foram realizadas recolhas de artigos publicados até junho de 2020, não existindo restrição na data de publicação dos artigos nem no idioma.

Foi utilizada a seguinte combinação de palavras chave: **((laser) AND (endodontics)) OR ((photodynamic therapy) AND (endodontics)) OR ((low power laser) AND (endodontics)) OR ((low potency laser) AND (endodontics)) OR ((high potency laser) AND (endodontics)) OR ((high power laser) AND (endodontics)) OR ((low-level laser therapy) AND (endodontics)) OR ((high-intensity laser therapy) AND (endodontics)) OR ((laser) AND (root canal)) OR ((photodynamic therapy) AND (root canal)) OR ((low power laser) AND (root canal)) OR ((low potency laser) AND (root canal)) OR ((high potency laser) AND (root canal)) OR ((high power laser) AND (root canal)) OR ((low-level laser therapy) AND (root canal)) OR ((high-intensity laser therapy) AND (root canal)) OR ((Laser-activated irrigation) AND (root canal)) OR ((Laser-activated irrigation) AND (endodontics)) OR ((photon induced photoacoustic streaming) AND (root canal)) OR ((photon induced photoacoustic streaming) AND (endodontics)) OR ((photoactivated disinfection) AND (endodontics)) OR ((photoactivated disinfection) AND (root canal)) OR ((PAD) AND (endodontics)) OR ((PAD) AND (root canal))**

Na Tabela 1 é possível observar a combinação dos vários termos.

Tipos/Funções do laser		Área/tratamento aplicado
“Laser” “Photodynamic therapy” “Photoactivated disinfection” “PAD” “Low power laser” “Low potency laser” “High potency laser” “High power laser” “Low-level laser therapy” “High-intensity laser therapy” “Photon induced photoacoustic streaming” “Laser-activated irrigation”	[AND]	“Endodontics” “Root canal”

Tabela 1- Equação da pesquisa *Pubmed*®

Filtros de Pesquisa
Humans
Clinical Study
Clinical Trial
Comparative Study
Controlled Clinical Trial
Evaluation Study
Laboratory Studies
Multicenter Study
Randomized Clinical Trial

Tabela 2- Filtros de pesquisa *Pubmed*®

Filtros de Pesquisa
Dentistry oral surgery medicine
Review
Article

Tabela 3 - Filtros de pesquisa *Web of Science*®

Seleção dos estudos

As publicações obtidas das 2 bases de dados computadorizadas (*Pubmed* e *WoS*) foram exportadas para o software gerenciador de bibliografias *EndNote*, onde foram excluídas as réplicas. Deste modo, o processo de seleção iniciou-se pela leitura e resumo de todos os títulos obtidos, seguido pela leitura exaustiva do conteúdo de cada estudo.

A seleção dos estudos foi realizado por dois avaliadores independentes. Numa fase inicial, após a aplicação das palavras chave mencionadas anteriormente e aplicação de filtros de pesquisa, o título e o resumo de cada artigo foram verificados, sendo incluídos os estudos que estivessem de acordo com os critérios de inclusão (Tabela 4). Depois deste passo, foi realizada a leitura na integra dos artigos, e foram considerados não elegíveis aqueles que apresentassem pelo menos um dos critérios de exclusão (Tabela 4). Em caso de dúvidas um terceiro pesquisador foi consultado.

Critérios de Inclusão
Estudos de intervenção Estudos reportaram sobre o nível de desinfecção bacteriana obtido com o uso de laser
Critérios de Exclusão
Estudos em animais Estudos não reportaram sobre o tipo de laser Estudos não reportaram sobre os detalhes do laser Estudos não englobam grupo controlo Estudos não mencionam significância estatística entre grupo controlo e grupo experimental Estudos sobre tratamento endodôntico cirúrgico

Tabela 4 - Critérios de inclusão e exclusão

Extração dos dados

A extração dos dados foi realizada através de um formulário padronizado que incluía informações sobre: 1) título do artigo; 2) ano da publicação do artigo; 3) tipo de estudo; 4) número de dentes; 5) tipo de laser; 6) tipo de ação do laser; 7) tipos de espécies bacterianas envolvidas; 8) grau de remoção dos microrganismos e das suas toxinas;

A recolha dos dados de cada estudo foi realizada por 2 avaliadores independentes.

4 Resultados

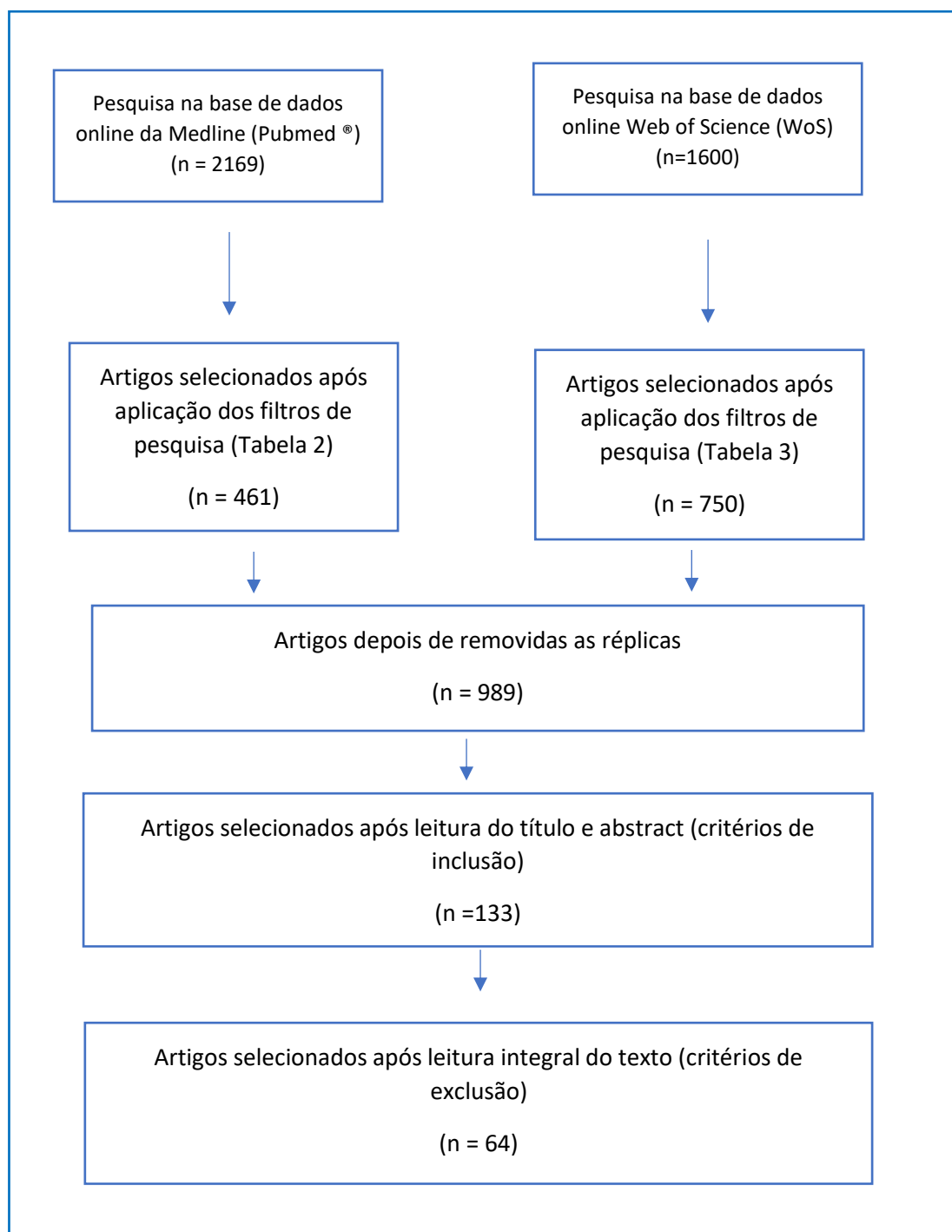


Figura 1 - Fluxograma de seleção dos artigos

Da pesquisa realizada (Fig. 1) obtiveram-se 1211 artigos, dos quais 989 foram obtidos após removidas as réplicas. Como referido anteriormente, numa fase inicial, foi feita a leitura de todos os títulos e resumos onde foram seleccionados 133 artigos. Posteriormente, foi feita a leitura completa e avaliação crítica dos mesmos, sendo que apenas 64 dos artigos adquiridos reuniam as características necessárias para o estudo. Os respetivos dados foram extraídos para uma folha Excel.

Tabela 5 - Características das publicações selecionadas sobre a ação antibacteriana dos lasers

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Comparison study of root canal disinfection by cold plasma jet and photodynamic therapy	2019	Laboratorial	100 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->PDT melhor que grupo controle positivo (diferença significativa p< 0.005)	36
The comparison of intracanal medicaments, diode laser and photodynamic therapy on removing the biofilm of Enterococcus faecalis and Candida albicans in the root canal system (ex-vivo study)	2019	Laboratorial	84 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis C. albicans	->Irradiação direta melhor que grupo controle positivo (diferença significativa p< 0.005)	37
Bactericidal Effect of 2780 nm Er, Cr:YSGG Laser Combined with 940 nm Diode Laser in Enterococcus faecalis Elimination: A Comparative Study	2019	Laboratorial	95 dentes monocanales	Diodo / Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal seco e húmido	E. faecalis	->Er, Cr:YSGG ; Er,Cr:YSGG + diodo; Er,Cr:YSGG + 5%NaOcl – melhores que grupo controle positivo (diferença significativa p< 0.005) -> Er, Cr:YSGG ; Er,Cr:YSGG + diodo – piores que Er,Cr:YSGG +5%NaOcl e 5%NaOcl	38
Assessment of antibacterial activity of 2.5% NaOCl, chitosan nanoparticles against Enterococcus faecalis contaminating root canals with and without diode laser irradiation: an in vitro study	2019	Laboratorial	60 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Diodo + 2.5% NaOCl e Diodo + CNPs melhores que grupo controle (diferença significativa p< 0.005). -> Diodo + 2.5% NaOCl e Diodo + CNPs melhores que apenas NaOCl e CNPs sem utilização de laser (diferença significativa p< 0.005).	39
Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo	2018	Laboratorial	160 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis Strept. Oralis Prevotella intermedia	->PDT adjuvante a irrigação com 1%NaOcl e CHX - melhor que grupo controle positivo (diferença significativa p< 0.005) após 5 dias.	40
Postoperative pain and antibacterial effect of 980 nm diode laser versus conventional endodontic treatment in necrotic teeth with chronic periapical lesions: A randomized control trial	2018	In vivo	56 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco	Várias espécies da flora endodôntica	->Irradiação direta - melhor que grupo controle (sem aplicação do laser) (diferença significativa p< 0.005) ao fim de 7 dias.	41
Evaluation of Antimicrobial Photodynamic Therapy Using Indocyanine Green and Near-Infrared Diode Laser Against Enterococcus faecalis in Infected Human Root Canals	2017	Laboratorial	90 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->PDT – melhores resultados que grupo controle positivo, resultados semelhantes a 2.5%NaOcl e 2.5%NaOcl + PDT	42
Bactericidal Efficacy of Photodynamic Therapy and Chitosan in Root Canals Experimentally Infected with Enterococcus faecalis: An in Vitro Study	2017	Laboratorial	102 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->PDT – melhores resultados que grupo controle positivo, resultados semelhantes a 2.5%NaOcl e a PDT + quitosina.	43
Bactericidal Effect of Er:YAG Laser-Activated Sodium Hypochlorite Irrigation Against Biofilms of Enterococcus faecalis Isolate from Canal of Root-Filled Teeth with Periapical Lesions	2017	Laboratorial	115 dentes monocanales	Er:YAG	PIPS	E. faecalis	->PIPS - Melhor que grupo controle positivo, resultados semelhantes a Ativação ultrassônica + 5%NaOcl.	44
The Effect of Diode Laser on Planktonic Enterococcus faecalis in Infected Root Canals in an Ex Vivo Model	2017	Laboratorial	128 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal húmido / PDT	E. faecalis plantônica	->Irradiação direta com o canal húmido e PDT - melhores resultados que grupo controle positivo. ->Irradiação direta com o canal húmido (5% NaOCl) apresenta resultados semelhantes a apenas 5%NaOcl e melhores resultados que PDT.	45

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals	2017	Laboratorial	5 canais radiculares simulados	Er:YAG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis / Streptococcus mutans	->Irradiação direta com o canal húmido (2.5% NaOCl) – melhor que grupo controlo positivo e resultados semelhantes a ativação ultrassónica +2.5%NaOcl	46
Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial	2017	In vivo	32 dentes mandibulares permanentes	Diodo	PDT	Várias espécies da flora endodôntica	->PDT apresenta resultados iguais a grupo controlo (preparo mecânico- químico)	47
The Antibacterial Effect of Nd: YAG Laser Treatment of Teeth with Apical Periodontitis: A Randomized Controlled Trial	2017	In vivo	45 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal húmido	Várias espécies	->Irradiação direta com o canal húmido apresenta resultados idênticos a grupo controlo (1%NaOcl + 15% EDTA	48
A Comparison of Er:YAG Laser with Photon-Initiated Photoacoustic Streaming, Nd:YAG Laser, and Conventional Irrigation on the Eradication of Root Dental Tubule Infection by Enterococcus faecalis Biofilms: A Scanning Electron Microscopy Study.	2017	Laboratorial	110 dentes monocanales	Er: YAG / Nd: YAG	PIPS / Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->PIPS e Irradiação direta com o canal seco apresentaram melhores resultados que o grupo controlo positivo (solução salina estéril)	49
Efficacy of Photon-induced Photoacoustic Streaming in the Reduction of Enterococcus faecalis within the Root Canal: Different Settings and Different Sodium Hypochlorite Concentrations	2017	Laboratorial	86 dentes monocanales	Er: YAG	PIPS	E. faecalis	->PIPS - Melhor que grupo controlo imediatamente após procedimentos e passadas 48 horas. PIPS com 5% NaOCl obteve os melhores resultados.	50
Enterococcus faecalis Elimination in Root Canals Using Silver Nanoparticles, Photodynamic Therapy, Diode Laser, or Laser-activated Nanoparticles: An In Vitro Study	2016	Laboratorial	65 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco / PDT	E. faecalis	->Irradiação direta com o canal seco / PD T- resultados semelhantes a grupo controlo (2.5%NaOcl)	51
A comparison of the antibacterial activity of the two methods of photodynamic therapy (using diode laser 810 nm and LED lamp 630 nm) against Enterococcus faecalis in extracted human anterior teeth	2016	Laboratorial	56 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->PDT com laser. – Melhor resultados que grupo controlo positivo, mas piores resultados que PDT com LED	52
Effects of photodynamic therapy, 2 % chlorhexidine, triantibiotic mixture, propolis and ozone on root canals experimentally infected with Enterococcus faecalis: an in vitro study	2016	Laboratorial	160 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->PDT- Melhor que grupo controlo positivo	53
Efficacy of low concentrations of sodium hypochlorite and low-powered Er, Cr: YSGG laser activated irrigation against an Enterococcus faecalis biofilm	2016	Laboratorial	96 dentes monocanales	Er, Cr: YSGG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Irradiação direta com o canal húmido (NaOCl) - Melhor que grupo controlo (canal irrigado com solução salina). LAI com 4% obteve os melhores resultados	54

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Antimicrobial activity of different disinfection methods against biofilms in root canals	2016	Laboratorial	300 dentes monocanales	Diodo / Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco / PDT	Staphylococcus aureus / E. faecalis / Streptococcus pyogenes / Streptococcus intermedius / Escherichia coli / Klebsiella pneumoniae / Serratia marcescens / Morganella morganii / P. aeruginosa / Acinetobacter baumannii / Candida albicans	->Ambos os tipos de ação melhores que grupo controle (sem tratamento).	55
Antibiofilm activity of three irrigation protocols activated by ultrasonic, diode laser or Er: YAG laser in vitro	2015	Laboratorial	280 dentes monocanales	Er: YAG / Diodo	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Irradiação direta com o canal húmido - melhor que grupo controle positivo. Tanto o laser de diodo como o de Er:YAG foram mais eficazes que a ativação ultrassônica e entre estes 2 lasers não existiu diferença significativa	56
Antimicrobial efficacy of Er, Cr:YSGG laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation and RinsEndo® against intracanal enterococcus faecalis	2014	Laboratorial	100 dentes monocanales	Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Irradiação direta com o canal húmido (2.5%NaOcl) - melhor que grupo controle positivo (sem tratamento). Não existiu diferenças entre irradiação direta, ativação ultrassônica e RinsEndo.	57
Photodynamic therapy versus ultrasonic irrigation: Interaction with endodontic microbial biofilm, an ex vivo study	2014	Laboratorial	34 dentes monocanales	Diodo	PDT	Enterococcus faecalis / Streptococcus salivarius / Porphyromonas gingivalis / Prevotella intermedia	->Pior que grupo controle (irrigação ultrassônica passiva com NaOCl) e melhor que grupo controle positivo.	58
Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with Enterococcus faecalis: An ex vivo study	2014	Laboratorial	25 dentes monocanales	Er:YAG	PIPS	E. faecalis	->Melhor que grupo controle positivo. ->Melhor que método de irrigação convencional	59
Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment	2013	Laboratorial	120 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco/ PDT	E. faecalis	->Irradiação direta - Igual a grupo controle positivo, ->PDT - melhor que grupo controle positivo. ->PDT melhor que irradiação direta.	60
Ex vivo antimicrobial efficacy of the EndoVac® system plus photodynamic therapy associated with calcium hydroxide against intracanal Enterococcus faecalis	2013	Laboratorial	125 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->Igual que grupo controle (preparo + irrigação).	61

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Comparison of the antibacterial effect and smear layer removal using photon-initiated photoacoustic streaming aided irrigation versus a conventional irrigation in single-rooted canals: An in vitro study	2013	Laboratorial	48 dentes monocanales	Er:YAG	PIPS	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo (solução salina estéril 0.9%), ->Igual aos outros grupos (3%NaOCl +EDTA, CHX).	62
Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals-an in vitro study	2012	Laboratorial	90 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco	Escherichia coli / Enterococcus faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo. ->Resultados semelhantes entre ambos os lasers.	63
Evaluation of Nd: YAG and Er: YAG irradiation, antibacterial photodynamic therapy and sodium hypochlorite treatment on Enterococcus faecalis biofilms	2012	Laboratorial	15 dentes monocanales	Diodo / Nd: YAG / Er: YAG	Irradiação direta com o canal seco / PDT	E. faecalis	->PDT e Er:YAG 100mj melhor que grupo controlo grupo. ->Er:YAG 50mj e Nd:YAG iguais a grupo controlo positivo.	64
Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: An ex vivo study	2012	Laboratorial	148 dentes monocanales	Er: YAG	PIPS	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo (irrigação com soro). ->Igual a 5%NaOCl sem ativação.	65
Bactericidal effects of Nd: YAG Laser irradiation and sodium hypochlorite solution on enterococcus faecalis biofilm	2012	Laboratorial	60 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo (sem tratamento). ->Nd: YAG + NaOCl melhor do que NaOCl.	66
Qualitative comparison of sonic or laser energization of 4% sodium hypochlorite on an Enterococcus faecalis biofilm grown in vitro.	2012	Laboratorial	58 dentes monocanales	Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo (sem tratamento). ->Ativação de NaOCl com laser melhor que energia sónica.	67
Effectiveness of photoactivated disinfection (PAD) to kill enterococcus faecalis in planktonic solution and in an infected tooth model	2012	Laboratorial	60 dentes monocanales + 132 tubos de ensaio	Diodo	PDT	E. faecalis	Tubos -> melhor que grupo controlo (sem irradiação) em todas as definições / Dentes -> Melhor que controlo negativo (solução salina estéril) imediatamente após Igual ao controlo negativo (passadas 72h), pior que controlo positivo (NaOCl) tanto após como passadas 72horas.	68
Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming	2011	Laboratorial	70 dentes monocanales	Er: YAG	PIPS	Bactérias da flora oral	->Melhor que grupo controlo positivo ->Melhor do que NaOCl e ultrassom	69
Bactericidal activity of erbium, chromium: yttrium-scandium-gallium-garnet laser in root canals	2010	Laboratorial	216 dentes monocanales	Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo ->Laser com 2 W durante 60s igual a 5%NaOCl	70
Comparison of Bacterial Reduction in Straight and Curved Canals Using Erbium, Chromium: Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet Laser Treatment versus a Traditional Irrigation Technique With Sodium Hypochlorite	2010	Laboratorial	55 dentes monocanales	Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal húmido	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo (sem tratamento) ->Igual a NaOCl	71
Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: A preliminary report	2010	In vivo	30 dentes monocanales	Diodo	PDT	Várias espécies da flora endodôntica	->Melhor que grupo controlo positivo ->Preparo mecânico químico + PDT > Preparo mecânico químico	72

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Bactericidal effect of KTP laser irradiation against <i>Enterococcus faecalis</i> compared with gaseous ozone: an ex vivo study	2009	Laboratorial	80 dentes monocanales	KTP	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo (solução salina estéril) ->Pior que 2.5%NaOCl	73
Antibacterial efficacy of diode and Er:YAG laser irradiation in experimentally contaminated primary molar root canals	2009	Laboratorial	32 dentes molares deciduos com 96 canais	Diodo / Er: YAG	Irradiação direta com o canal húmido	Várias espécies da flora endodôntica	->Melhores que grupo controlo positivo (sem tratamento) ->Diodo semelhante a 5.25% NaOCl e melhor que Er:YAG	74
Light activated disinfection: An alternative endodontic disinfection strategy	2009	Laboratorial	85 dentes monocanales	Diodo	PDT	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo (sem tratamento) ->Pior que NaOCl	75
Effectiveness of different laser systems to kill <i>Enterococcus faecalis</i> in aqueous suspension and in an infected tooth model	2009	Laboratorial	60 dentes monocanales	Nd: YAG / KTP / Diodo	Irradiação direta com o canal seco / PDT	E. faecalis	->Nd: YAG e KTP - igual a grupo controlo positivo (sem tratamento) Diodo- melhor que grupo controlo positivo NaOCl melhor que todos os lasers	76
Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo	2008	Laboratorial	38 dentes monocanales	Diodo	PDT	<i>Streptococcus anginosus</i> / <i>Enterococcus faecalis</i> / <i>Fusobacterium nucleatum</i>	->Melhor que grupos controlo (só laser, só fotossensibilizador e sem tratamento)	77
High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin	2008	Laboratorial	30 dentes monocanales	Diodo	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo (canal apenas irrigado com solução salina) ->Pior que NaOCl	78
Photodynamic Treatment of Endodontic Polymicrobial Infection In Vitro	2008	Laboratorial	120 dentes monocanales	Diodo	PDT	<i>Actinomyces israelii</i> , <i>Fusobacterium nucleatum</i> subspecies <i>nucleatum</i> , <i>Porphyromonas gingivalis</i> , and <i>Prevotella intermedia</i>	->Melhor que grupo controlo (sem laser e sem fotossensibilizador)	79
Effects of Er:YAG Laser Irradiation on Biofilm-forming Bacteria Associated with Endodontic Pathogens In Vitro	2008	Laboratorial	40 discos de hidroxiapatite	Er: YAG	Irradiação direta com o canal seco	L. casei / E. faecalis / P. acnes / A. naeslundii / F. nucleatum / P. gingivalis / P. nigrescens	->Melhores que grupo controlo (sem tratamento) quanto a P.nigrescens, P. gingivalis e F. nucleatum; Iguais que grupo controlo quanto a L. casei; 20mj igual quanto a E.faecalis e P. acnes; 40mj e 80mj melhores	80
Bactericidal efficacy of Er,Cr: YSGG laser irradiation against <i>Enterococcus faecalis</i> compared with NaOCl irrigation: an ex vivo pilot study	2007	Laboratorial	40 dentes monocanales	Er, Cr: YSGG	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo ->Pior que NaOCl	81
Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection	2007	Laboratorial	10 dentes monocanales	Diodo	PDT	<i>Proteus mirabilis</i> / <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	->Melhor que grupo controlo positivo ->Preparo mecânico químico + PDT > Preparo mecânico químico	82

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium- gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with <i>Enterococcus faecalis</i>	2007	Laboratorial	180 dentes monocanales	Er,Cr: YSGG	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controle (sem tratamento)	83
Evaluation of the Bactericidal Effect of Er,Cr:YSGG, and Nd:YAG Lasers in Experimentally Infected Root Canals	2007	Laboratorial	60 dentes monocanales	Nd: YAG / Er,Cr: YSGG	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Ambos piores que grupo NaOCl 2.5%, mas melhores que grupo controle negativo (sem tratamento) Nd:YAG obteve os melhores resultados	84
The use of the erbium, chromium:yttriumscandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: The results of an in vitro study	2007	Laboratorial	60 dentes monocanales	Er, Cr:YSGG	Irradiação direta com o canal seco	E. coli / E. faecalis	->Melhor que grupo controle (sem tratamento)	85
Bactericidal effect of Nd:YAG laser irradiation on some endodontic pathogens ex vivo	2006	Laboratorial	8 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco	Várias espécies da flora endodontica	->Melhor que grupo controle positivo (sem tratamento a laser)	86
Antibacterial action of photoactivated disinfection (PAD) used on endodontic bacteria in planktonic suspension and in artificial and human root canals	2006	Laboratorial	30 dentes monocanales + 4 Placas de titulação + 24 blocos de treino	Diodo	PDT	Fusobacterium nucleatum / Peptostreptococcus micros / Prevotella intermedia / Streptococcus intermedius,	->Placas de titulação - Melhor que grupo controle (solução salina estéril sem uso de laser) em todas as definições, Dentes/blocos de treino - Melhor que grupo controle	87
Efficiency of NaOCl and laser-assisted photosensitization on the reduction of <i>Enterococcus faecalis</i> in vitro	2006	Laboratorial	30 dentes monocanales	GaAlA	PDT	E. faecalis	->Melhor que grupo controle positivo ->PDT melhor que 0.5% NaOCl	88
Efficacy of NaOCl/H2O2 irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro	2003	Laboratorial	72 dentes monocanales	GaAlA	Irradiação direta com o canal seco	Streptococcus sanguinis	->Melhor que grupo controle positivo	89
Antibacterial effects of pulsed Nd:YAG laser radiation at different energy settings in root canals	2002	Laboratorial	114 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco	Escherichia coli Staphylococcus aureus	->Melhor que grupo controle positivo ->Pior que NaOCl	90
Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals	2002	Laboratorial	60 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco	Actinomyces naeslundii / Pseudomonas aeruginosa	->Melhores que grupo controle (sem tratamento) ->Pior do que 5%NaOCl	91
An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation on <i>Streptococcus intermedius</i> biofilms in root canals	2002	Laboratorial	35 dentes monocanales	He-Ne	PDT	Streptococcus intermedius	->Melhor que grupos controle (só laser, só fotossensibilizador e sem tratamento); ->Pior que 3%NaOCl	92
Antibacterial effects of pulsed Nd:YAG laser radiation at different energy settings in root canals	1999	Laboratorial	90 dentes monocanales	Er: YAG	Irradiação direta com o canal seco	Escherichia coli / Staphylococcus aureus	->Melhor que grupo controle (sem tratamento)	93
The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: An in vitro comparison	1999	Laboratorial	40 dentes monocanales	Nd: YAG / Ho:YAG / Er:YAG	Irradiação direta com o canal seco	Escherichia coli / Enterococcus faecalis	->Melhores que grupo controle positivo (sem tratamento) ->Pior que NaOCl	94
An evaluation of the bactericidal effect of the Nd:YAP laser	1997	Laboratorial	30 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco	Streptococcus mitis	->Melhor que grupo controle positivo ->5Hz e 10Hz pior 5.25% NaOCl ->30Hz igual a 5.25% NaOCl X	95

Publicação	Ano	Tipo de estudo	Número de dentes / amostras	Tipo de laser	Tipo de ação do laser	Espécies bacterianas	Resultados	Ref
Comparative evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation: An in vitro study	1995	Laboratorial	80 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal húmido	Bacillus stearothermophilus	->Melhor que controlo positivo ->Ativação com laser de 5.25% NaOCl igual a 5.25% NaOCl sem ativação	96
Nd: YAG laser irradiation in root canal disinfection	1995	Laboratorial	75 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco	E. faecalis	->Melhor que grupo controlo positivo ->Pior que NaOCl	97
Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation	1994	Laboratorial	50 dentes monocanales	Nd: YAG	Irradiação direta com o canal seco e húmido	Bacillus stearothermophilus	->Melhor que grupo controlo positivo I->irradiação direta com o canal seco, húmido (0.5%NaOCl) e 0.5 NaOCl sem ativação – resultados iguais	98
Effects of the XeCl excimer laser on Streptococcus mutans	1993	Laboratorial	96 pratos de cultura	XeCl	Irradiação direta com o canal seco	S. mutans	->Irradiação com tempos de 4s e 8s melhor que grupos controlo (sem tratamento),	99

Em relação à data de publicação dos estudos selecionados, é possível observar que o estudo mais antigo selecionado foi publicado em 1993, enquanto que o estudo mais recente foi publicado em 2019. Dos anos de 1996, 1998, 2000, 2001, 2004 e 2005 não foram selecionados estudos. Na figura 4 é possível observar o número de publicações selecionadas em cada ano, sendo que o ano com mais publicações selecionadas foi 2017 (9 publicações) e os anos com menos publicações selecionadas foram 2015, 2011, 2003, 1997, 1994 e 1993 (cada um com apenas 1 publicação selecionada).



Figura 2 - Número de publicações por ano (n=64)

Quanto ao tipo de estudos selecionados, a maior parte dos estudos eram do tipo laboratorial (60 estudos), sendo que apenas 4, de um total de 64 estudos eram *in vivo*. (Figura 3)



Figura 3 - Tipo de estudos selecionados (n=64)

Nomeadamente aos objetos utilizados com o intuito experimental, a maioria dos estudos utilizou apenas um tipo de objeto com finalidade experimental, contudo alguns estudos utilizaram mais do que um. 59 estudos utilizaram dentes monocanales, 1 estudo utilizou canais radiculares simulados, 1 estudou utilizou dentes molares permanentes, 1 estudo utilizou dentes molares decíduos, 1 estudou utilizou pratos de cultura, 1 estudo utilizou placas de titulação e blocos de treino, 1 estudo utilizou discos de hidroxiapatita e 1 estudo utilizou tubos de ensaio.

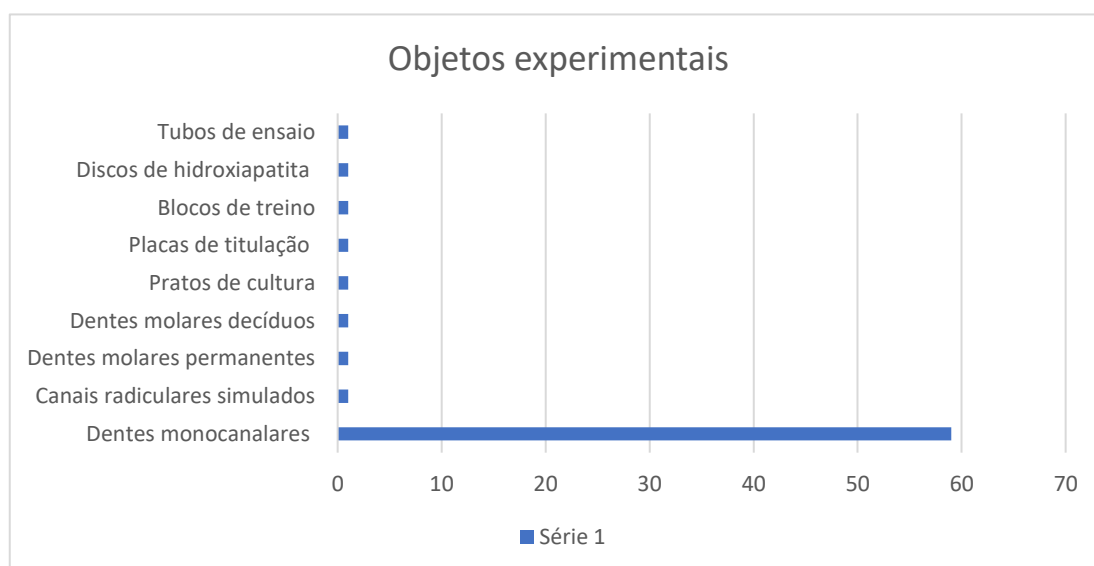


Figura 4 - Objetos experimentais (n=67)

No que diz respeito ao tipo de laser, alguns estudos abordaram a utilização de apenas um laser, enquanto outros mencionaram a utilização de mais de um tipo de laser. Foram 33 os estudos que abordaram a utilização do laser de diodo (utilizado como laser de baixa ou alta potência), 15 estudos mencionaram a utilização do laser de granada-neodímio-ítrio-alumínio (Nd:YAG), 14 estudos falaram sobre o laser de érbio-ítrio-alumínio-granada (Er:YAG), 10 estudos sobre o laser de ítrio-escândio-granada-gálio (Er,Cr:YSGG), 2 estudos sobre o laser titânio fosfato de potássio (KTP), 1 estudo sobre o laser monocloreto de xenônio (XeCl) e 1 estudo sobre o laser Hólmio: Ítrio-Alumínio-Granada (Ho:YAG) (Figura 4).

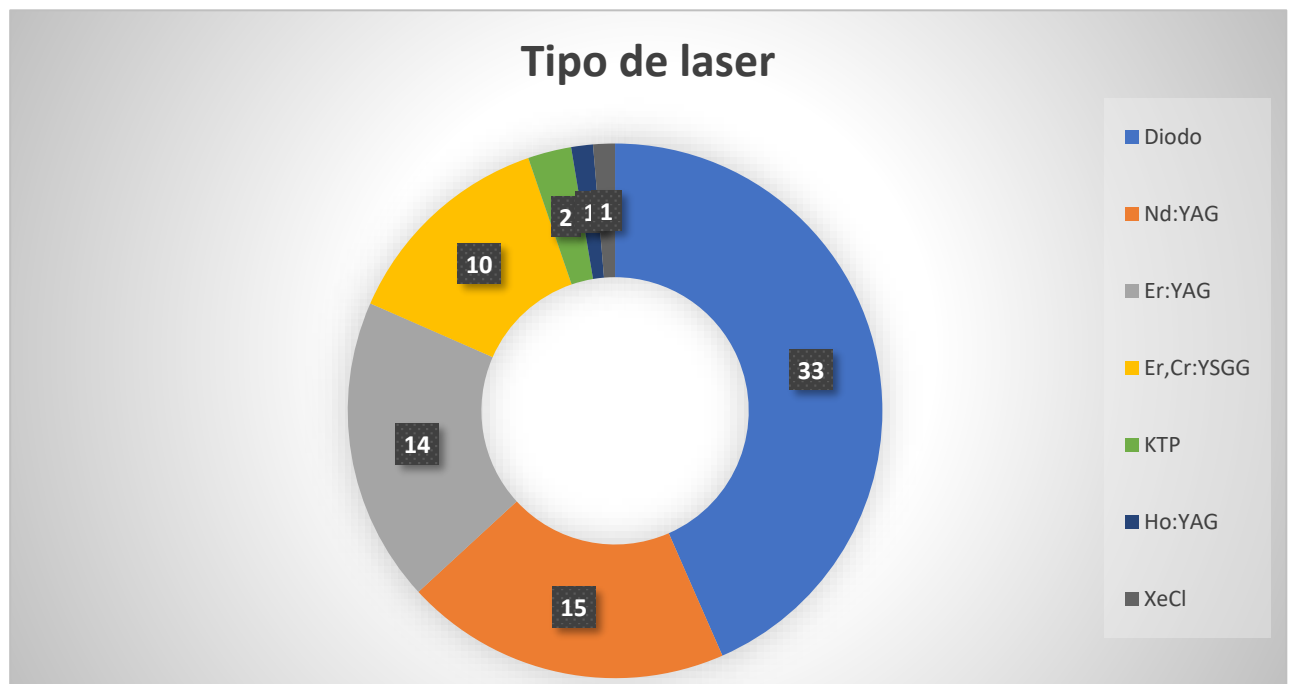


Figura 5 - Tipo de laser abordado nas publicações (n=77)

Abordando o tema de ação dos lasers, como já foi referido anteriormente, na área da endodontia, estes podem ter 3 funcionalidades: irradiação direta, tanto com canal seco e húmido, terapia fotodinâmica e PIPS. Alguns estudos mencionaram mais do que uma funcionalidade. No total, 28 publicações descreveram a irradiação direta com o canal seco, 14 sobre irradiação direta com o canal húmido, 25 sobre terapia fotodinâmica e 7 sobre PIPS.

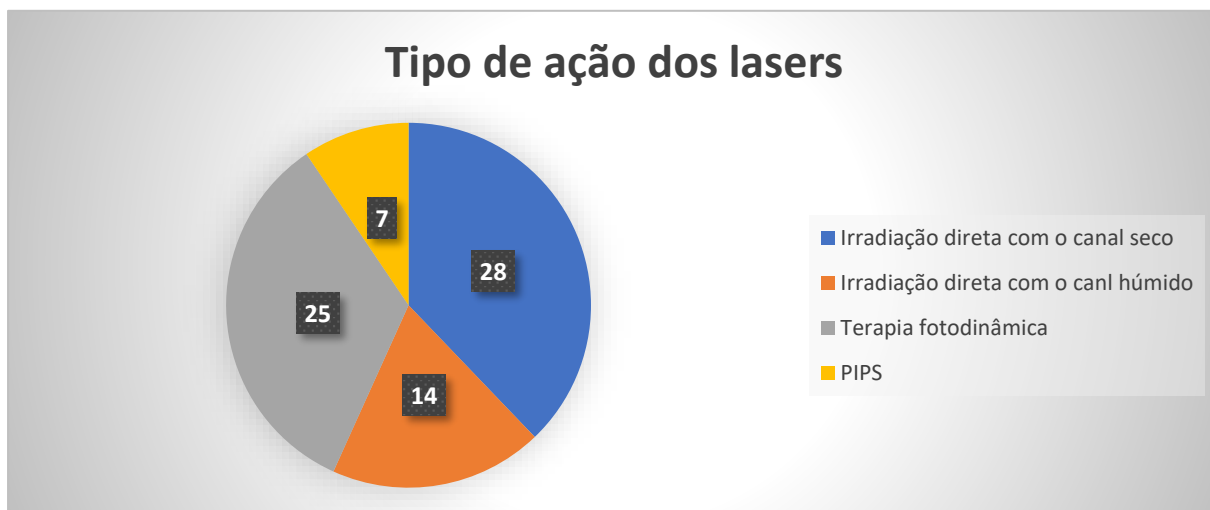


Figura 6 - Tipo de ação dos lasers (n=74)

Em relação às espécies bacterianas, a grande maioria dos artigos referenciou a utilização da espécie *Enterococcus faecalis*. Alguns artigos mencionaram a utilização de várias espécies da flora endodôntica, mas sendo estes um número bastante inferior. É de notar que alguns estudos mencionaram a utilização tanto de *Enterococcus faecalis* como de outras espécies.

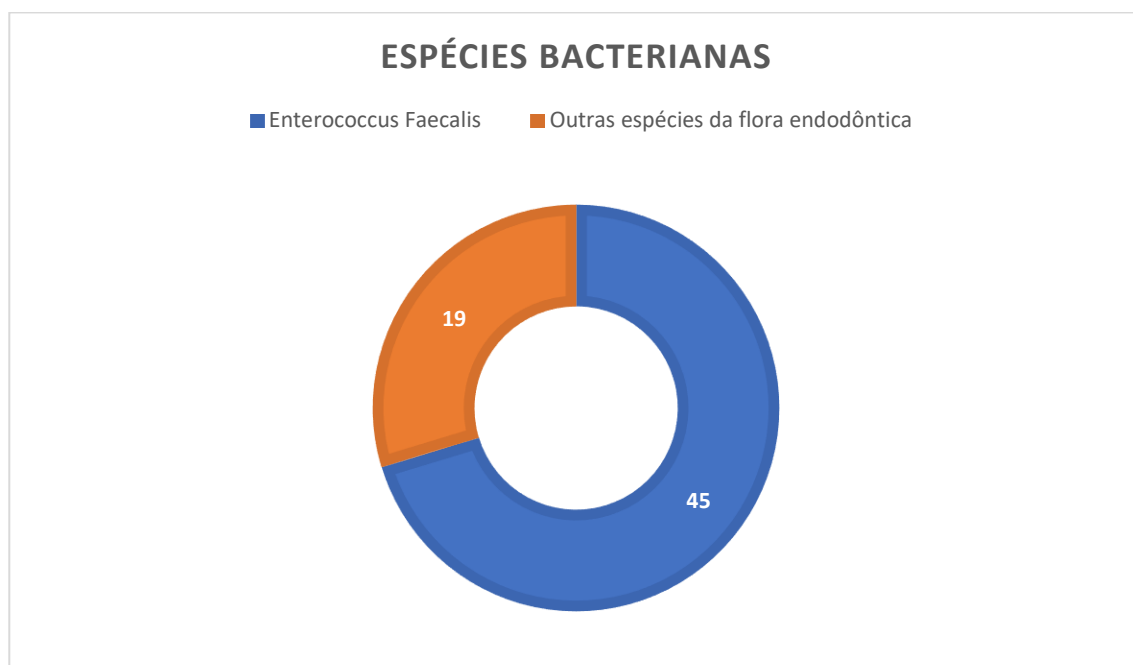


Figura 7 - Distribuição das espécies bacterianas pelos estudos (n=64)

		Terapia Fotodinâmica	PIPS	Irradiação com o canal seco							Irradiação com o canal húmido			
		Diodo	Er:YAG	Diodo	Nd: YAG	Er:YAG	Er, Cr:YSGG	KTP	Ho:YAG	XeCL	Diodo	Nd: YAG	Er:YAG	Er, Cr:YSGG
	Melhor	36,40,42,43,45,52,53,55,58,60,64,68,72,75,76,77,79,82,87,88,92	44,49,50,59,62,65,69	37,41,63,78,89	49,55,84,86,90,91,94,95,97,98	64,80,93,94	38,70,81,83,84,85	73	94	99	39,45,56,74	66,96,98	46,56,74	38,54,57,67,71
Grupo Controlo	Igual			60	62,76	80		76						
	Pior													
	Melhor	88	59,69								39	66		
Grupo NaOCl	Igual	42,43,47,51,61	44,62,65	51							45,74	48,96	46	38,71
	Pior	75,76,92		78	76,84,90,91,94,97	94	81,84	73,76	94					

Tabela 6 - Resultados extraídos das publicações selecionadas (n=64)

Por fim, os resultados extraídos de cada artigo estão presentes na tabela nº 6. Foram retiradas as informações referentes à comparação do tipo de ação do laser com um grupo controlo positivo (grupo em que não realizado nenhum tipo de tratamento) e um grupo controlo com preparação mecânico-química, utilizando NaOCl. De alguns artigos foi possível extrair ambas as informações, contudo alguns artigos apenas realizaram a comparação com um destes grupos.

5 Discussão

O objetivo de uma revisão sistemática é aglomerar todas as evidências empíricas que atendem a critérios de elegibilidade pré-selecionados, para tentar responder a uma questão de pesquisa específica. São utilizados métodos sistemáticos explícitos que são selecionados para minimizar vieses, fornecendo, assim, resultados fiáveis a partir dos quais, se podem tirar conclusões e tomar decisões (34,35).

Este tipo de estudo é muito utilizado na área de medicina dentária com objetivos de recolher informações para otimizar questões clinicamente pertinentes (100).

Atualmente, o uso de NaOCl na área da endodontia têm sido recomendado como a melhor forma de eliminar microorganismos, apresentando propriedades antimicrobianas e tendo a capacidade de dissolver tecido (101). Para além disso é económico, está bastante disseminado no mercado e apresentada uma grande durabilidade (101). O inconveniente de utilizar NaOCl em maiores concentrações (ou seja, com melhores propriedades antibacterianas), é o facto de ser citotóxico para os dos tecidos periradiculares. A sua extrusão pode provocar uma dor excruciante, edema imediato e sangramento abundante (101). O objetivo desta revisão da bibliografia passou, portanto, por determinar se a utilização de uma alternativa recente (uso de técnicas lasers) apresenta boas propriedades ao nível da desinfeção microbiana, sem os possíveis efeitos nefastos do NaOCl.

Espécies Bacterianas

A maioria dos estudos utilizou como espécie bacteriana *Enterococcus faecalis*. É um tipo de bactéria associado com bastante frequência a lesões periapicais persistentes (51). Esta é uma bactéria *cocci* anaeróbia *gram* positiva,

responsável pela grande maioria dos insucessos no tratamento endodôntico (51). Esta bactéria desencadeia uma resposta imunológica do organismo e prejudica a função dos linfócitos (102). É capaz de sobreviver em condições nutricionais inadequadas e pode permanecer viável como um único microrganismo (103). Tem a capacidade de penetrar nos túbulos dentinários e de formar biofilme (104). O biofilme bacteriano é altamente resistente aos irrigantes convencionais devido à formação de uma matriz de polímero extracelular (105). Além disso, protege as bactérias do sistema imunológico e fornece nutrientes; consequentemente, aumentando a resistência de microrganismos (106). Assim, é possível verificar que esta espécie bacteriana está bastante presente em infecções persistentes dos canais radiculares, levando muitas vezes ao insucesso do tratamento endodôntico primário. Como tal, a sua eliminação de forma eficaz é um fator para garantir o sucesso no tratamento endodôntico, sendo por isso que a grande maioria dos estudos selecionados utilizaram esta espécie para verificar a eficácia dos lasers utilizados.

Terapia Fotodinâmica

Vários estudos (36,40,42,43,45,52,53,55,58,60,64,68,72,75-77,79,82,87,88,92), verificaram que a terapia fotodinâmica com a utilização de lasers de baixa intensidade (díodo) apresentava melhores resultados (diferença estatisticamente significativa) comparativamente com o grupo controlo positivo. De facto, este grupo é exposto à espécie ou espécies bacterianas utilizadas em cada estudo, não sendo posteriormente sujeito a qualquer tipo de tratamento. Desde o estudo mais antigo desta temática (88) que as propriedades antibacterianas da terapia fotodinâmica têm sido confirmadas. Como já descrito anteriormente, a ativação de um fotossensibilizador por uma fonte de luz de baixa intensidade, leva à produção de radicais livres de oxigénio, que induzem a morte dos microorganismos. A ação seletiva da PDT é uma das suas mais importantes características, porque esta terapêutica é letal para microrganismos em concentrações mais baixas do que aqueles necessários para matar células normais.

Dos estudos que compararam a capacidade antibacteriana da PDT com a de um grupo NaOCl, apenas o estudo de Silva Garcez *et al.* (88) afirmou que o uso de um laser de diodo para realizar terapia fotodinâmica obteve melhores resultados comparativamente com um grupo de 0.5%NaOCl, ao nível da desinfecção bacteriana, sendo que os estudos de Beltes *et al.* (42) e outros autores (43,47,51,61) obtiveram resultados semelhantes entre o grupo com laser e o grupo com NaOCl. Os estudos de Lim *et al.* (75), Meire *et al.* (76) e Seal *et al.* (92), obtiveram resultados opostos, reiterando que o grupo com laser obteve piores resultados comparativamente com o grupo NaOCl. Estes resultados contraditórios podem ser explicados pelas condições existentes em cada estudo. Cada estudo utilizou diferentes fotossensibilizadores, em diferentes concentrações e definições de laser diferentes. Por exemplo, diferentes espécies bacterianas apresentam diferentes sensibilidades para a PDT; consequentemente, espécies reativas de oxigénio não são igualmente tóxicas para todos os microorganismos. O comprimento de onda da luz, absorbância do fotossensibilizador, energia luminosa, a intensidade da luz e o tempo de exposição podem também ter um papel nos resultados, porque para obter o melhor resultado, o fotossensibilizador deve ser eficientemente excitado pela fonte de luz.

PIPS

Todos os artigos selecionados sobre a temática do PIPS (44,49,50,59,62,65,69), concluíram que este tipo de ação com a utilização de um laser de Er:YAG, apresentava melhor resultados comparativamente com o grupo controlo positivo. O mecanismo de ação do PIPS é atribuído à expansão e implosão do vapor de bolha com efeitos secundários de cavitação, que induzem um movimento do fluido, com alta velocidade, para dentro e para fora do canal. O fluido produz ondas de choque colapsadas e streaming acústico, que pode colocar um grande stress na parede do canal radicular, facilitando a penetração do NaOCl nas camadas de dentina profundas para exercer o seu efeito bactericida. Durante o processo de Er: YAG + NaOCl, a ponta da fibra é colocada e ativada no orifício do canal radicular. Isto indica que o Er: YAG + NaOCl pode

ter indicações mais amplas, não só em canais únicos e retos, mas também em canais com vários formatos.

Olivia *et al.* (59) e Peters *et al.* (69) comparam o efeito do PIPS com um grupo apenas com NaOCl, concluindo que ambos apresentam o mesmo efeito antibacteriano. Cheng *et al.* (44), Pedullà *et al.* (65) e Seet *et al.* (67) comparam também o efeito do PIPS com um grupo apenas com NaOCl, mas obtiveram com resultado que o PIPS apresenta um melhor efeito que apenas utilizando NaOCl. Esta disparidade nos resultados pode ser explicada pelo diferente volume de NaOCl utilizado nos grupos PIPS e a colocação da ponta do laser na câmara pulpar pode estar muito longe para ativar o fluxo de fluido na parte apical do canal, afetando os seus efeitos bactericidas. Embora a característica mais notável do PIPS no tratamento endodôntico seja atribuída à sua eficácia em eliminar microrganismos (colocando apenas a ponta do laser na entrada da câmara pulpar, com preparação canalar mínima), a anatomia altamente variável dos canais radiculares pode limitar este tipo de ação remota. É, portanto, essencial investigar se o alargamento do canal radicular para um tamanho adequado, juntamente com a colocação da ponta do laser a uma maior profundidade, poderia aumentar o nível de desinfecção, enquanto ao mesmo tempo não extruindo qualquer irrigante além do forame apical.

Irradiação com o canal seco

A grande maioria dos estudos selecionados (37,38,41,49,50,55,59,62-65,69,70,73,78,80,81,83-86,90,91,93-95,97-99), refere que a utilização de vários tipos de laser no canal, sem estar presente qualquer irrigante no interior deste, é significativamente mais eficaz em comparação com o grupo controlo positivo.

Foram utilizados vários tipos de laser: os lasers de diodo e Nd: YAG, cujo efeito antibacteriano pode ser explicado pelo facto de que os lasers próximos dos infravermelhos são absorvidos em pequena extensão pela dentina. Esse fator é importante para a desinfecção eficiente, pois o laser não é absorvido pela dentina superficial, mas penetra profundamente na dentina intertubular. Vaarkamp *et al.* (107) e Odor *et al.* (108) referem uma explicação para esta forma de propagação da luz, pois descreveram a capacidade dos prismas de esmalte

e túbulos dentinários de atuarem como uma fibra óptica, permitindo assim que estes tipos de laser sejam mais eficazes em camadas profundas da dentina. De acordo com Gutknecht *et al* (109)., o laser de ND: YAG, o laser de díodo de 810 nm e o laser de díodo de 980 nm são os que mostraram alta transmissão através de hidroxiapatita e água, podendo assim ser utilizados com sucesso para a desinfecção de canais radiculares. O efeito antibacteriano é baseado na absorção da luz laser no substrato ao qual as bactérias aderem (dentina), resultando num aumento local da temperatura, alta o suficiente para resultar na morte celular. A baixa absorção do comprimento de onda destes lasers na água e na dentina, requer altas densidades de energia para produzir um efeito antibacteriano.

Em relação aos lasers de Er:YAG e Er,Cr:YSGG, as moléculas de água dentro das bactérias são favoráveis ao efeito produzido por este tipo de lasers, resultando na sua destruição quando a energia é absorvida. Dos vários lasers utilizados para várias aplicações dentárias, os lasers Er: YAG e Er, Cr:YSGG são aqueles que apresentam a maior absorção pela água, e o seu comprimento de onda correlaciona-se intimamente com a absorção máxima da hidroxiapatita. Devido a essas propriedades, estes lasers tem uma excelente ação antimicrobiana e o potencial de destruir biofilmes. Como o conteúdo de água dos biofilmes é alta, a energia destes lasers é muito absorvida. (110)

Na literatura, não há consenso sobre os ajustes de potência e a duração da irradiação das aplicações do laser, pelo que em cada artigo, os autores utilizaram os parâmetros recomendados pelos fabricantes ou parâmetros criados pelos mesmos.

Quanto aos lasers de KTP (73,76), Ho-YAG (94) e XeCl (99), foram recolhidos um número reduzido de artigos, sendo que a utilização destes lasers não está muito presente na atualidade.

Um menor número de artigos comparou também o efeito antibacteriano dos lasers com um grupo NaOCl, sendo que a maioria obteve como resultado que o NaOCl é mais eficaz a reduzir o número de bactérias comparativamente com os lasers utilizados. Estes resultados podem ser explicados pelo facto de ainda não existir um consenso sobre os parâmetros de potência e duração de irradiação na literatura, que garantam a melhor desinfecção possível, e protocolos definidos sobre a aplicação dos lasers.

Irradiação com o canal húmido

Os artigos selecionados sobre a irradiação com o canal húmido (NaOCl) (38,49,45,46,54,56,57,66,67,71,74,96,98) obtiveram melhores resultados comparativamente com o grupo controlo positivo, e apenas 2 artigos (39,66), que compararam com um grupo NaOCl, concluíram que o grupo com laser foi mais eficaz, sendo que a maioria obteve como resultados que o grupo com laser foi igualmente eficaz ao grupo NaOCl. De facto, o mecanismo de limpeza da irrigação ativada por laser depende do movimento rápido do fluido no canal como resultado da expansão e implosão de bolhas de vapor na ponta da fibra causada pela operação do laser pulsado, um fenómeno de cavitação pura (111,112). Além disso, acredita-se que ondas de choque (113) e bolhas de cavitação secundárias contribuam para a ação de limpeza. É muito importante que o comprimento de onda do laser utilizado para este tipo de ação esteja alinhado com a frequência de ressonância da água para obter uma absorção máxima do feixe de laser pelo irrigante. O laser Er: YAG (Erbium, Ítrio-Alumínio-Garnet), com um comprimento de onda de 2940 nm e o laser Er, Cr: YSGG (Erbium; Crómio, Ítrio-Escândio-Gálio-Garnet), com um comprimento de onda de 2780 nm, são ambos adequados para ativar a solução irrigante, uma vez que esses comprimentos de onda estão próximos do pico de absorção de água (114,115). O efeito da irrigação ativa por laser é ainda influenciado pelas características do laser, como o comprimento do pulso, energia do pulso, frequência do pulso, desenho da ponta do laser e posição. Os lasers de diódo e Nd: YAG são menos absorvidos pela água em comparação com os lasers de érbio, contudo, pelos dados dos estudos recolhidos estes apresentavam resultados semelhantes. Contudo, comparando a irrigação ativada com laser com apenas NaOCl sem ativação, somente 2 grupos concluíram que este procedimento obteve uma diferença estatisticamente significativa. Este facto pode ser explicado devido às alterações no modelo de biofilme, concentração do irrigante, comprimento de onda do laser, parâmetros do laser (energia de pulso, frequência de pulso), posição da fibra ponta e tempo de irradiação variarem entre os vários estudos.

É necessário, no futuro, criar protocolos ideias que garantam o máximo de eficácia na desinfecção canalar.

6 Conclusão

A utilização do laser está cada vez mais presente na atualidade da medicina dentária. A sua aplicação não está apenas restrita à área da endodontia, sendo que em várias áreas, como cirurgia, dentisteria e periodontologia, a sua utilização traz vantagens em comparação com métodos tradicionais. Mais especificamente na área da desinfeção canal, têm surgido várias técnicas que aparentam aumentar o nível de desinfeção bacteriana no interior dos canais, entre as quais a terapia fotodinâmica, PIPS, irradiação com canal seco e canal húmido.

Através dos dados selecionados dos vários estudos é possível observar que, de facto, estes novos métodos de desinfeção são eficazes em reduzir significativamente o número de bactérias. Cada um dos métodos apresenta bons resultados, não sendo possível afirmar que existe um superior em relação aos outros. Contudo, em comparação com o NaOCl, ainda não é possível afirmar que estes sejam superiores. É também difícil sintetizar os resultados dos estudos selecionados devido às suas diferenças na metodologia. Por exemplo, o modelo de biofilme, o tipo de irrigante (solução salina, NaOCl), a sua concentração (entre 0.5 e 6% de NaOCl), o comprimento de onda do laser e parâmetros do laser (energia de pulso, frequência de pulso, posição da fibra ponta, tempo de irradiação) são discrepantes entre estudos.

No futuro, seria importante desenvolver um protocolo que permitisse utilizar as técnicas com laser no máximo potencial para poder quantificar a sua capacidade máxima de desinfeção e, por fim, comparar o seu efeito com o do NaOCl.

7 Bibliografia

- 1- Martens LC. Laser physics and a review of laser applications in dentistry for children. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2011 Apr 30 ;12(2):61–7.
- 2- Mishra B M, Mishra Sh. Lasers, and its Clinical Applications in Dentistry. *Int J Dent Clin*. 2011;3(4):35–38.
- 3- MAIMAN TH. Stimulated Optical Radiation in Ruby. In: *Essentials of Lasers*. Elsevier; 1969. p. 134–6.
- 4- Verma S, Chaudhari P, Maheshwari S, Singh R. Laser in dentistry: An innovative tool in modern dental practice. *Natl J Maxillofac Surg* 2012;3(2):124.
- 5- Gross AJ, Herrmann TRW. History of lasers. *World J Urol* 2007 Jun 15;25(3):217–20.
- 6- Luke AM, Mathew S, Altawash MM, Madan BM. Lasers: A review with their applications in oral medicine. *J Lasers Med Sci*. 2019; 10(4):324–9.
- 7- Carroll L, Humphreys TR. LASER-tissue interactions. *Clin Dermatol* 2006 Jan 24(1):2–7
- 8- Sulieman M. An overview of the use of laser in general dental practice: 1. Laser physics and tissue interactions. *Dent Update*. 2005 May 2;32(4):228–36.
- 9- Goldman L, Goldman B, Lieu N Van. Current laser dentistry. *Lasers Surg Med*. 1987;6(6):559–62.
- 10- Convissar RA. *Principles and Practice of Laser Dentistry-E-Book*: Elsevier Health Sciences; 2015.

- 11- Noble PB, Shields ED, Blecher PD, Bentley KC. Locomotory characteristics of fibroblasts within a three-dimensional collagen lattice: Modulation by a helium/neon soft laser. *Lasers Surg Med.* 1992; 12:669–74.
- 12- Iijima K, Shimoyama N, Shimoyama M, Yamamoto T, Shimizu T, Mizuguchi T. Effect of repeated irradiation of low-power He-Ne laser in pain relief from postherpetic neuralgia. *Clin J Pain.* 1989; 5:271–4.
- 13- Turek T, Langeland K. A light microscopic study of the efficacy of the telescopic and Giromatic preparation of root canals. *J Endodon* 1982; 8:437–45
- 14- Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 1981; 89:321–8
- 15- Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endodon* 1990; 16:498–504.
- 16- Perez Z, Calas P, De Falguerolles A, Maurette A. Migration of a streptococcus sanguis strain through the root dentinal tubules. *J Endodon* 1993; 19:297-301.
- 17- Ramsköld LO, Fong CD, Strömberg T. Thermal effects and antibacterial properties of energy levels required to sterilize stained root canals with a Nd:YAG laser. *J Endodon* 1997; 23:96–100.
- 18- Moshonov J, Ostravik D, Yamauchi S, Pettiette M, Trope M. Nd: YAG laser irradiation in root canal disinfections. *Endod Dent Traumatol* 1995; 11:220–4.
- 19- Hardee MW, Miserendino LJ, Kos W, Wala H. Evaluation of the anti-bacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation. *J Endodon* 1994; 20:377–80
- 20- Neimz MH. *Laser Tissue Interactions. Fundamentals and Applications.* 3rd edn. Berlin: Springer, 2003

- 21- Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal Effect of different laser systems in the deep layers of the dentin. *Laser Surg Med* 2004; 35:1 11-116
- 22- Altundasar E, Ozcelik B, Cehreli ZC, Matsumoto K. Ultramorphological and histochemical changes after ER, CR: YSGG laser irradiation and two diferente irrigation regimes, *J Endod* 2006; 32:465-468.
- 23- Jahan KM, Hossain M, Nakamura Y, Yoshishige Y, Kinoshita J, Matsumoto K, Na assessment following root canal preparation by Er,Cr:YSGG laser irradiation in straight and curved roots, in vitro, *Laser Med Sci* 2006;21:229-234
- 24- Brugnara A Jr, Zanin F, Barbin EL, Spano JC, Santana R, Pecora JD. Effects of Er: YAG and Nd: YAG laser irradiation on radicular dentine permeability using different irrigating solutions. *Lasers Surg Med* 2003; 33:256 –9.
- 25- Stabholz A, Sahar Helft S, Moshonov J. Lasers in endodontics. *Dent Clin North Am* 2004; 48:809 –32.
- 26- Dewsnap N, Pileggi R, Haddix J, Nair U, Walker C, Varella CH. Comparison of bacterial reduction in straight and curved canals using erbium, chromium:yttrium-scandiumgallium- garnet laser treatment versus a traditional irrigation technique with sodium hypochlorite. *J Endod* 2010; 36:725– 728.
- 27- Blanken J, De Moor RJ, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 1: a visualization study. *Lasers Surg Med* 2009; 41:514–519.
- 28- De Moor RJ, Blanken J, Meire M, Verdaasdonk R. Laser induced explosive vapor and cavitation resulting in effective irrigation of the root canal. Part 2: evaluation of the efficacy. *Lasers Surg Med* 2009; 41:520–523

- 29- De Groot SD, Verhaagen B, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR, van der Sluis LW. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization. *Int Endod J* 2009; 42:1077–1083.
- 30- Spangberg L, Langeland K. Biological effect of dental materials¹, Toxicity of root canal filling materials on HeLa cells in vitro. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology* 1973;35:402–14.
- 31- Yao N, Zhang C, Chu C. Effectiveness of photoactivated disinfection (PAD) to kill enterococcus faecalis in planktonic solution and in an infected tooth model. *Photomed Laser Surg.* 2012 Dec 1; 30(12):699–704.
- 32- Williams JA, Pearson GJ, Colles MJ, Wilson M. The effect of variable energy input from a novel light source on the photoactivated bactericidal action of toluidine blue o on Streptococcus mutans. *Caries Res.* 2003 May; 37(3):190–3.
- 33- Bhatti M, MacRobert A, Meghji S, Henderson B, Wilson M. Effect of Dosimetric and Physiological Factors on the Lethal Photosensitization of Porphyromonas gingivalis in vitro. *Photochem Photobiol* . 1997 Jun;65(6):1026–31.
- 34- Antman EM, Lau J, Kupelnick B, Mosteller F, Chalmers TC. A Comparison of Results of Meta-analyses of Randomized Control Trials and Recommendations of Clinical Experts: Treatments for Myocardial Infarction. *JAMA J Am Med Assoc.* 1992 Jul 8;268(2):240–8.
- 35- OXMAN AD, GUYATT GH. The Science of Reviewing Research. *Ann N Y Acad Sci.* 1993 Dec;703(1):125–34.
- 36- Armand A, Khani M, Asnaashari M, AliAhmadi A, Shokri B. Comparison study of root canal disinfection by cold plasma jet and photodynamic therapy. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2019 Jun 1; 26:327–33.

- 37- Moradi Eslami L, Vatanpour M, Aminzadeh N, Mehrvarzfar P, Taheri S. The comparison of intracanal medicaments, diode laser and photodynamic therapy on removing the biofilm of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* in the root canal system (ex-vivo study). *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2019 Jun 1; 26:157–61.
- 38- Tokuc M, Ozalp S, Topcuoglu N, Kulekci G. Bactericidal Effect of 2780 nm Er, Cr: YSGG Laser Combined with 940 nm Diode Laser in *Enterococcus faecalis* Elimination: A Comparative Study. *Photobiomodulation, Photomedicine, Laser Surg*. 2019 Aug 1;37(8):489–94.
- 39- Roshdy NN, Kataia EM, Helmy NA. Assessment of antibacterial activity of 2.5% NaOCl, chitosan nanoparticles against *Enterococcus faecalis* contaminating root canals with and without diode laser irradiation: an in vitro study. *Acta Odontol Scand*. 2019 Jan 2;77(1):39–43.
- 40- Hoedke D, Enseleit C, Gruner D, Dommisch H, Schlafer S, Dige I, et al. Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo. *Int Endod J*. 2018 Jan 1 ;51: e23–34.
- 41- Morsy DA, Negm M, Diab A, Ahmed G. Postoperative pain and antibacterial effect of 980 nm diode laser versus conventional endodontic treatment in necrotic teeth with chronic periapical lesions: A randomized control trial. *F1000Research*. 2018 Nov 15; 7:1795.
- 42- Beltes C, Economides N, Sakkas H, Papadopoulou C, Lambrianidis T. Evaluation of Antimicrobial Photodynamic Therapy Using Indocyanine Green and Near-Infrared Diode Laser Against *Enterococcus faecalis* in Infected Human Root Canals. *Photomed Laser Surg*. 2017 May 1; 35(5):264–9.
- 43- Camacho-Alonso F, Julián-Belmonte E, Chiva-García F, Martínez-Beneyto Y. Bactericidal Efficacy of Photodynamic Therapy and Chitosan in Root Canals Experimentally Infected with *Enterococcus faecalis*: An in Vitro Study. *Photomed Laser Surg*. 2017 Apr 1; 35(4):184–9.

- 44- Cheng X, Xiang D, He W, Qiu J, Han B, Yu Q, et al. Bactericidal Effect of Er: YAG Laser-Activated Sodium Hypochlorite Irrigation Against Biofilms of *Enterococcus faecalis* Isolate from Canal of Root-Filled Teeth with Periapical Lesions. *Photomed Laser Surg.* 2017 Jul 1 ; 35(7):386–92.
- 45- Cretella G, Lajolo C, Castagnola R, Somma F, Inchingolo MT, Marigo L. The Effect of Diode Laser on Planktonic *Enterococcus faecalis* in Infected Root Canals in an Ex Vivo Model. *Photomed Laser Surg.* 2017 Apr 1;35(4):190–4.
- 46- De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJG. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *Int Endod J.* 2017 May 1 ;50(5):472–9.
- 47- de Miranda RG, Colombo APV. Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2018 May 1 ;22(4):1751–61.
- 48- Granevik Lindström M, Wolf E, Fransson H. The Antibacterial Effect of Nd: YAG Laser Treatment of Teeth with Apical Periodontitis: A Randomized Controlled Trial. *J Endod.* 2017 Jun 1 ;43(6):857–63.
- 49- Ozses Ozkaya B, Gulsahi K, Ungor M, Gocmen JS. A Comparison of Er: YAG Laser with Photon-Initiated Photoacoustic Streaming, Nd:YAG Laser, and Conventional Irrigation on the Eradication of Root Dentinal Tubule Infection by *Enterococcus faecalis* Biofilms: A Scanning Electron Microscopy Study. *Scanning.* 2017;2017.
- 50- Golob BS, Olivi G, Vrabec M, El Feghali R, Parker S, Benedicenti S. Efficacy of Photon-induced Photoacoustic Streaming in the Reduction of *Enterococcus faecalis* within the Root Canal: Different Settings and Different Sodium Hypochlorite Concentrations. *J Endod.* 2017 Oct 1;43(10):1730–5.
- 51- Afkhami F, Akbari S, Chiniforush N. *Enterococcus faecalis* Elimination in Root Canals Using Silver Nanoparticles, Photodynamic Therapy, Diode Laser, or

- Laser-activated Nanoparticles: An In Vitro Study. *J Endod.* 2017 Feb 1;43(2):279–82.
- 52- Asnaashari M, Mojahedi SM, Asadi Z, Azari-Marhabi S, Maleki A. A comparison of the antibacterial activity of the two methods of photodynamic therapy (using diode laser 810 nm and LED lamp 630 nm) against *Enterococcus faecalis* in extracted human anterior teeth. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2016 Mar 1 ;13:233–7.
- 53- Camacho-Alonso F, Salmerón-Lozano P, Martínez-Beneyto Y. Effects of photodynamic therapy, 2 % chlorhexidine, triantibiotic mixture, propolis and ozone on root canals experimentally infected with *Enterococcus faecalis*: an in vitro study. *Odontology.* 2017 Jul 1 ;105(3):338–46.
- 54- Christo JE, Zilm PS, Sullivan T, Cathro PR. Efficacy of low concentrations of sodium hypochlorite and low-powered Er, Cr: YSGG laser activated irrigation against an *Enterococcus faecalis* biofilm. *Int Endod J.* 2016 Mar 1 ;49(3):279–86.
- 55- Gergova RT, Gueorgieva T, Dencheva-Garova MS, Krasteva-Panova AZ, Kalchinov V, Mitov I, et al. Antimicrobial activity of different disinfection methods against biofilms in root canals. *J Investig Clin Dent .* 2016 Aug 1;7(3):254–62.
- 56- Neelakantan P, Cheng CQ, Mohanraj R, Sriraman P, Subbarao C, Sharma S. Antibiofilm activity of three irrigation protocols activated by ultrasonic, diode laser or Er: YAG laser in vitro. *Int Endod J.* 2015 Jun 1 ;48(6):602–10.
- 57- Jurič IB, Plečko V, Anić I. Antimicrobial efficacy of Er, Cr: YSGG laser-activated irrigation compared with passive ultrasonic irrigation and RinsEndo® against intracanal *enterococcus faecalis*. *Photomed Laser Surg.* 2014 Nov ;32(11):600–5.
- 58- Muhammad OH, Chevalier M, Rocca JP, Brulat-Bouchard N, Medioni E. Photodynamic therapy versus ultrasonic irrigation: Interaction with endodontic microbial biofilm, an ex vivo study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2014 Jun ;11(2):171–81.

- 59- Olivi G, DiVito E, Peters O, Kaitsas V, Angiero F, Signore A, et al. Disinfection efficacy of photon-induced photoacoustic streaming on root canals infected with *Enterococcus faecalis*: An ex vivo study. *J Am Dent Assoc*. 2014 Aug ;145(8):843–8.
- 60- Bago I, Plečko V, Gabrić Pandurić D, Schauperl Z, Baraba A, Anić I. Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. *Int Endod J*. 2013 Apr;46(4):339–47.
- 61- Miranda RG, Santos EB, Souto RM, Gusman H, Colombo APV. Ex vivo antimicrobial efficacy of the EndoVac® system plus photodynamic therapy associated with calcium hydroxide against intracanal *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*. 2013 Jun ;46(6):499–505.
- 62- Zhu X, Yin X, Chang JWW, Wang Y, Cheung GSP, Zhang C. Comparison of the antibacterial effect and smear layer removal using photon-initiated photoacoustic streaming aided irrigation versus a conventional irrigation in single-rooted canals: An in vitro study. *Photomed Laser Surg*. 2013 Aug 1 ;31(8):371–7.
- 63- Beer F, Buchmair A, Wernisch J, Georgopoulos A, Moritz A. Comparison of two diode lasers on bactericidity in root canals-an in vitro study. *Lasers Med Sci*. 2012 Mar 2 ;27(2):361–4.
- 64- Meire MA, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG. Evaluation of Nd: YAG and Er: YAG irradiation, antibacterial photodynamic therapy and sodium hypochlorite treatment on *Enterococcus faecalis* biofilms. *Int Endod J*. 2012 May ;45(5):482–91.
- 65- Pedullà E, Genovese C, Campagna E, Tempera G, Rapisarda E. Decontamination efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming (PIPS) of irrigants using low-energy laser settings: An ex vivo study. *Int Endod J*. 2012 Sep;45(9):865–70.

- 66- Rahimi S, Shahi S, Gholizadeh S, Shakouie S, Rikhtegaran S, Soroush Barhaghi MH, et al. Bactericidal effects of Nd: YAG Laser irradiation and sodium hypochlorite solution on enterococcus faecalis biofilm. *Photomed Laser Surg.* 2012 Nov 1 ;30(11):637–41.
- 67- Meire MA, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG. Evaluation of Nd: YAG and Er: YAG irradiation, antibacterial photodynamic therapy and sodium hypochlorite treatment on *Enterococcus faecalis* biofilms. *Int Endod J.* 2012 May;45(5):482–91.
- 68- Yao N, Zhang C, Chu C. Effectiveness of photoactivated disinfection (PAD) to kill enterococcus faecalis in planktonic solution and in an infected tooth model. *Photomed Laser Surg.* 2012 Dec 1 ;30(12):699–704.
- 69- Peters OA, Bardsley S, Fong J, Pandher G, Divito E. Disinfection of root canals with photon-initiated photoacoustic streaming. *J Endod.* 2011 Jul ;37(7):1008–12.
- 70- Arnabat J, Escribano C, Fenosa A, Vinuesa T, Gay-Escoda C, Berini L, et al. Bactericidal activity of erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser in root canals. *Lasers Med Sci.* 2010 Nov 23 ;25(6):805–10.
- 71- Dewsnap N, Pileggi R, Haddix J, Nair U, Walker C, Varella CH. Comparison of Bacterial Reduction in Straight and Curved Canals Using Erbium, Chromium: Yttrium-Scandium-Gallium-Garnet Laser Treatment versus a Traditional Irrigation Technique With Sodium Hypochlorite. *J Endod.* 2010 Apr;36(4):725–8.
- 72- Garcez AS, Nuñez SC, Hamblim MR, Suzuki H, Ribeiro MS. Photodynamic therapy associated with conventional endodontic treatment in patients with antibiotic-resistant microflora: A preliminary report. *J Endod.* 2010 Sep ;36(9):1463–6.

- 73- Kuştarci A, Sümer Z, Altunbaş D, Koşum S. Bactericidal effect of KTP laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with gaseous ozone: an ex vivo study. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2009 May ;107(5): e73–9.
- 74- Kuvvetli SS, Sandalli N, Topcuoglu N, Kulekci G. Antibacterial efficacy of diode and Er: YAG laser irradiation in experimentally contaminated primary molar root canals. *J Clin Pediatr Dent*. 2009 Sep 1 ;34(1):43–8.
- 75- Lim Z, Cheng JL, Lim TW, Teo EG, Wong J, George S, et al. Light activated disinfection: An alternative endodontic disinfection strategy. *Aust Dent J*. 2009 Jun ;54(2):108–14.
- 76- Meire MA, De Prijck K, Coenye T, Nelis HJ, De Moor RJG. Effectiveness of different laser systems to kill *Enterococcus faecalis* in aqueous suspension and in an infected tooth model. *Int Endod J*. 2009 Apr ;42(4):351–9.
- 77- Bergmans L, Moisiadis P, Huybrechts B, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Effect of photo-activated disinfection on endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J*. 2008 Mar ;41(3):227–39.
- 78- de Souza EB, Cai S, Simionato MRL, Lage-Marques JL. High-power diode laser in the disinfection in depth of the root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2008 Jul;106(1):e68–72.
- 79- Fimple JL, Fontana CR, Foschi F, Ruggiero K, Song X, Pagonis TC, et al. Photodynamic Treatment of Endodontic Polymicrobial Infection In Vitro. *J Endod* . 2008 Jun ;34(6):728–34.
- 80- Noiri Y, Katsumoto T, Azakami H, Ebisu S. Effects of Er: YAG Laser Irradiation on Biofilm-forming Bacteria Associated with Endodontic Pathogens In Vitro. *J Endod*. 2008 Jul;34(7):826–9.

- 81- Eldeniz AU, Ozer F, Hadimli HH, Erganis O. Bactericidal efficacy of Er,Cr:YSGG laser irradiation against *Enterococcus faecalis* compared with NaOCl irrigation: An ex vivo pilot study. *Int Endod J*. 2007 Feb;40(2):112–9.
- 82- Garcez AS, Ribeiro MS, Tegos GP, Núñez SC, Jorge AOC, Hamblin MR. Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root canal biofilm infection. *Lasers Surg Med*. 2007 Jan;39(1):59–66.
- 83- Gordon W, Atabakhsh VA, Meza F, Doms A, Nissan R, Rizoiu I, et al. The antimicrobial efficacy of the erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnet laser with radial emitting tips on root canal dentin walls infected with *Enterococcus faecalis*. *J Am Dent Assoc*. 2007 Jul;138(7):992–1002.
- 84- Wang Q qian, Zhang C fei, Yin X zhe. Evaluation of the Bactericidal Effect of Er, Cr: YSGG, and Nd: YAG Lasers in Experimentally Infected Root Canals. *J Endod*. 2007 Jul ;33(7):830–2.
- 85- Schoop U, Goharkhay K, Klimscha J, Zagler M, Wernisch J, Georgopoulos A, et al. The use of the erbium, chromium:yttriumscandium-gallium-garnet laser in endodontic treatment: The results of an in vitro study. *J Am Dent Assoc*. 2007 Jul ;138(7):949–55.
- 86- Bergmans L, Moisiadis P, Teughels W, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Bactericidal effect of Nd: YAG laser irradiation on some endodontic pathogen's ex vivo. *Int Endod J*. 2006 Jul;39(7):547–57.
- 87- Williams JA, Pearson GJ, John Colles M. Antibacterial action of photoactivated disinfection {PAD} used on endodontic bacteria in planktonic suspension and in artificial and human root canals. *J Dent*. 2006 Jul;34(6):363–71.
- 88- Silva Garcez A, Núñez SC, Lage-Marques JL, Jorge AOC, Ribeiro MS. Efficiency of NaOCl and laser-assisted photosensitization on the reduction of *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2006 Oct ;102(4): e93–8.

- 89- Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Götz H, et al. Efficacy of NaOCl/H₂O₂ irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. *Lasers Surg Med*. 2003 Mar;32(3):189–96.
- 90- Folwaczny M, Mehl A, Jordan C, Hickel R. Antibacterial effects of pulsed Nd: YAG laser radiation at different energy settings in root canals. *J Endod*. 2002 Jan;28(1):24–9.
- 91- Piccolomini R, D’Arcangelo C, D’Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, De Fazio P. Bacteriologic evaluation of the effect of Nd: YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod*. 2002 Apr;28(4):276–8.
- 92- Seal GJ, Ng YL, Spratt D, Bhatti M, Gulabivala K. An in vitro comparison of the bactericidal efficacy of lethal photosensitization or sodium hypochlorite irrigation on *Streptococcus intermedius* biofilms in root canals. *Int Endod J*. 2002 Mar;35(3):268–74.
- 93- Folwaczny M, Mehl A, Jordan C, Hickel R. Antibacterial effects of pulsed Nd: YAG laser radiation at different energy settings in root canals. *J Endod*. 2002 Jan;28(1):24–9.
- 94- Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch J, et al. The bactericidal effect of Nd:YAG, Ho:YAG, and Er:YAG laser irradiation in the root canal: An in vitro comparison. *J Clin Laser Med Surg*. 1999 Jan;17(4):161–4.
- 95- Blum JY, Michalesco P, Abadie MJM. An evaluation of the bactericidal effect of the Nd:YAP laser. *J Endod*. 1997 Sep;23(9):583–5.
- 96- Fegan SE, Steiman HR. Comparative evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation: An in vitro study. *J Endod*. 1995 Aug;21(8):415–7.

- 97- Moshonov J, Ørstavik D, Yamauchi S, Pettiette M, Trope M. Nd: YAG laser irradiation in root canal disinfection. *Dent Traumatol*. 1995 Oct;11(5):220–4.
- 98- Hardee MW, Miserendino LJ, Kos W, Walia H. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd: YAG laser irradiation. *J Endod*. 1994 Aug;20(8):377–80.
- 99- Stabholz A, Kettering J, Neev J, Torabinejad M. Effects of the XeCl excimer laser on *Streptococcus mutans*. *J Endod*. 1993 May;19(5):232–5.
- 100- Jung R, Pjetursson B, Glauser R, Zembic A, Zwahlen M, Lang N. A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19(2):119–30.
- 101- Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*. 2002 ;13(2):113 7.
- 102- Siddiqui SH, Awan KH, Javed F. Bactericidal efficacy of photodynamic therapy against *Enterococcus faecalis* in infected root canals: a systematic literature review. *Photodiagnosis Photodyn Ther* 2013; 10:632–43.
- 103- Zhang C, Du J, Peng Z. Correlation between *Enterococcus faecalis* and persistente intraradicular infection compared with primary intraradicular infection: a systematic review. *J Endod* 2015; 41:1207–13
- 104- Du T, Wang Z, Shen Y, et al. Effect of long-term exposure to endodontic disinfecting solutions on young and old *Enterococcus faecalis* biofilms in dentin canals. *J Endod* 2014; 40:509–14.
- 105- Shrestha A, Shi Z, Neoh KG, Kishen A. Nanoparticulates for antibiofilm treatment and effect of aging on its antibacterial activity. *J Endod* 2010; 36:1030 5.

- 106- Stojicic S, Amorim H, Shen Y, Haapasalo M. Ex vivo killing of *Enterococcus faecalis* and mixed plaque bacteria in planktonic and biofilm culture by modified photoactivated disinfection. *Int Endod J* 2013; 46:649–59.
- 107- Vaarkamp J, ten Bosch JJ, Verdonschot EH Propagation of light through human dental enamel and dentine. *Caries Res.* 1996 29(1):8–13
- 108- Odor TM, Watson TF, Pitt Ford TR, Mc Donald F Pattern of transmission of laser light in teeth. *Int Endod J.* 1996 29 (4):228–234
- 109- Saydjari Y, Kuypers T, Gutknecht N. Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd: YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals - A Literature Overview- Vol. 2016, BioMed Research International. Hindawi Limited.
- 110- Meire M, Coenye T, Nelis H, De Moor R In vitro inactivation of endodontic pathogens with Nd: YAG and Er: YAG lasers. *Lasers in Medical Science.* 2011.
- 111- J, Verdaasdonk R Cavitation as a working mechanism of the Er, Cr: YSGG laser in endodontics: a visualization study. *Journal of Oral Laser Applications.* 2007 7, 97–106.
- 112- Matsumoto H, Yoshimine Y, Akamine A Visualization of irrigant flow and cavitation induced by Er: YAG laser within a root canal model. *Journal of Endodontics.* 2011 37, 839–43.
- 113- Esenaliev RO, Oraevsky AA, Letokhov VS, Karabutov AA, Malinsky TV Studies of acoustical and shock waves in the pulsed laser ablation of biotissue. *Lasers in Surgery and medicine.* 1993 13, 470–84.
- 114- Wieliczka DM, Weng S, Querry MR Wedge shaped cell for highly absorbent liquids: infrared optical constants of water. *Applied Optics.* 1989 28, 1714–9.

- 115- Meire MA, Poelman D, De Moor RJ Optical properties of root canal irrigants in the 300-3,000-nm wavelength region. *Lasers in Medical Science*. 2014 29, 1557–62.